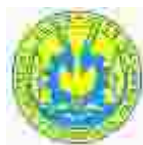


UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Ecole Doctorale « Eau, Qualité et Usages de L'Eau »

Faculté des Lettres et Sciences Humaines

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Géomorphologie littorale

Année académique : 2015-2016

N° d'ordre : 032

Présentée par

Guilgane FAYE

Sujet

**IMPACTS DES MODIFICATIONS RECENTES DES CONDITIONS CLIMATIQUES
ET OCEANOGRAPHIQUES DANS L'ESTUAIRE DU SALOUM ET SES REGIONS
DE BORDURES (SENEGAL)**



Soutenue le 12/03/2016

devant le jury composé de :

Pr. Alioune KANE

Pr. El Hadji Salif DIOP

Pr. Mamadou Moustapha SALL

Pr. Bachir DIOUF

Pr. Boubou Aldiouma SY

Pr. Madame Aminata NDIAYE

Pr. Oumar SALL

Président

Directeur de thèse

Co-directeur de thèse

Rapporteur

Rapporteur

Examinatrice

Examineur

Sommaire

Sommaire	1
Sigles et abréviations.....	5
Avant- propos.....	9
Résumé :.....	12
Abstract:	13
Introduction générale :	14
Synthèse bibliographique.	25
Présentation générale du milieu	37
Conclusion	50
Problématique	51
Questions de recherche.....	54
Hypothèses de recherche :.....	54
Définition des concepts.	55
La méthodologie.	56
Chapitre 1 : La tectonique et la paléogéographie quaternaire	77
Introduction	79
1.1. La tectonique.....	81
1.2. La paléogéographie quaternaire.....	85
1.2.1 L'Anté Holocène	85
1.2.2. Le Quaternaire Récent	89
1.2.3. La phase tchadienne	92
1.2.4. L'évolution Holocène	94
1.2.5. L'évolution au Subactuel et à l'Actuel	96
Conclusion.....	97
Chapitre 2 : les ressources en eaux.....	98
Introduction	99
2.1. La nappe du Continental Terminal.....	101
2.2. La nappe quaternaire.....	101
2.3. Les eaux de surface	105
2.3.1. Les eaux salées (cartes 12, 13, 14, 15,16, 17)	105
2.3.2. Les eaux douces.....	111
Conclusion partielle de la première partie.	115
Chapitre 3 : dynamique des conditions climatiques	117
Introduction	119
3.1. Evolution récente du climat en Afrique de l'ouest.....	119
3.2. Les mécanismes généraux:	137
3.3. Les éléments du climat	144

3.3.1. Les vents	144
3.3.2. Variation interannuelle de l'insolation en heures au niveau des trois stations	153
Conclusion partielle	207
Chapitre 4 : les conditions océanographiques et estuariennes	210
4.1. Morphologie et Bathymétrie.	212
4.2. Répartition des sédiments du plateau continental de la Petite Côte :	215
4.3. Les facteurs généraux des conditions océanographiques.	222
4.3.1. Courants et masses d'eau.	222
4.3.2. Les houles	230
4.4. Les marées	235
4.5. La dérive littorale	239
4.6. Les facteurs secondaires dans le système estuarien.	240
4.6.1. Les vagues	240
4.6.2. Les autres types de courants.	242
Conclusion	244
Chapitre 5 : Impacts sur la dynamique côtière et estuarienne	245
Introduction	246
5. I. Modifications de la dynamique aérologique.	246
5.2. Modifications de la dynamique hydrologique.	247
5.2.1. Rupture de la flèche de Sangomar	248
5.2.2. Bathymétrie et courantométrie	263
5. 2. 3. Les facteurs géomorphologiques	276
Chapitre 6 : les unités morphologiques : localisation, caractérisation, sédimentologie et dynamique.	292
Introduction.	293
6. 1. Localisation, caractérisation et sédimentologie	293
6.1.1. Le fond des chenaux : variation des profondeurs.	293
6.1.2. Sédimentologie	299
6.2.1. Le fond des chenaux	300
6.1.2. Les berges et les estrans	308
6.1.3. Les bancs sableux.	314
6.1.3.1. Localisation et caractérisation.	314
6.1.3.2. Sédimentologie	316
6.1.4. Les vasières à mangrove	318
6.1.4.1. répartition	318
6.1.4.2. Sédimentologie.	348
6.2.4.1 dans le domaine insulaire	348
6.2.4.2. dans le domaine continental	352

6.1.5. Les tannes	355
6.1.5.1. Localisation et caractérisation	355
6.1.5.2. Sédimentologie	361
6.1.6. Les cordons.....	377
6.1.6.1. Localisation et caractérisation	378
6.1.6.2. Sédimentologie	385
6.1.7. Les vallées fossiles	393
6.1.7.1. Localisation et caractérisation	393
6.1.7.2. Sédimentologie.	399
Conclusion.	402
6 .2. Dynamiques des unités morphologiques des années 1980 aux années 2010.	403
6 .2.1. La mangrove du Saloum	403
6 .2.2. Dans l'ensemble de l'aire d'étude de 1986 à 2014	407
Conclusion.	413
Chapitre 7: Impacts géomorphologiques et environnementaux dans les régions de bordures.	414
Introduction.	415
7.1. Les impacts géomorphologiques.....	416
7.2. Les impacts sur les ressources hydriques.	418
7.2.1. Les eaux de surface.	420
7.2.2. Les eaux souterraines.....	421
Conclusion.	429
7.3. Les impacts sur la nature et l'état des sols	429
7.3.1. Les sols de mangroves.....	429
7.3.2. Les types de sols du Sine-Saloum	433
7.3.3. Sols du bassin versant et des régions de bordures	433
7.3.4. La dégradation des sols au niveau du bassin arachidier	436
Conclusion :	441
7.4. Les impacts sur la nature et l'état de la végétation	442
7.4.1. Sur les forêts de mangroves.	444
7.4.2. Sur les autres types forêts.	445
Chapitre 8 : l'aménagement intégré des unités morphologiques et les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.....	467
Introduction	468
8 .1. L'aménagement intégré des unités morphologiques.....	470
8 .1.1. Les vasières à mangrove	470
8 .1.2. Les tannes.	481
8.1.3. Les vallées fossiles (vallée fossile du Saloum au village de Tounn et du Sine à Mbak Mboye Tolé).	489

8 .2. Les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.	492
8 .2.1. La lutte contre l'érosion	492
8. 2. 2. La lutte contre la salinisation.....	501
Conclusion générale.	515
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	519
Annexe 1 Courbes semi- logarithmiques des unités morphologiques.	564
Annexe 2.....	569
Liste des illustrations	585
Table des matières.....	Erreur ! Signet non défini.

Sigles et abréviations.

ACCC : Adaptation aux Changements Climatiques et Côtiers en Afrique de l'ouest

ADG : Aide au Développement Gembloux

ANCAR : Agence Nationale du Conseil Agricole Rural

AFNOR : Association Française de Normalisation

ASE : Analyse Stratégique de l'Environnement

ASUFOR : Association des Usagers des Forages

CCD : Convention de Lutte Contre la Désertification

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

CERP : Centre d'Expansion Rural Polyvalent

CGDD : Commissariat Général au Développement Durable

CILSS : Comité international de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

CIRAD: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CISEAU: Centre d'Information Sur l'Eau Agricole et ses Usages

CRA : Centre de recherches Agricoles.

CNCAS : Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CNUED : Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement

CONGAD: Conseil des ONG d'Appui au Développement

CONSERE : Conseil supérieur des ressources naturelles et de l'environnement.

CSE : Centre de Suivi Ecologique

CSP : Compagnie Sénégalaise des Phosphates

DAT : Direction de l'Aménagement du Territoire

DDD : Délégation au Développement Durable

DEFCCS : Direction des Eaux, Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols

DEEC : Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés

D.H.V: Deutscher Handels und industries angestellten Verband (Hambourg)

DISC : Décentralisation Initiative Santé Communautaire

DPM : Domaine Public Maritime

DRDR : Direction Régionale Développement Rural

DTGG : Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques

ENDA : Environnement et développement africain

E.P.E.E.C : Equipe Pluridisciplinaire d'Etude des Ecosystèmes Côtiers.

FEM : Fonds pour l'Environnement Mondial

FIOD : Fédération Inter-villageoise des Organisations pour le Développement durable

GES : Gaz à Effet de Serre.

GIE : Groupement d'Intérêt Economique

GPF : Groupement de Promotion Féminine

GLASOD : Global Land Assesment of Soil Degradation ou Estimation Globale de la Dégradation

GREP : Groupe Recherche Environnement et Presse

GRNE : Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement

GTZ : Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit

ICS : Industries Chimiques du Sénégal

IDEE : Intervention pour le Développement Ecologique de l'Environnement en Casamance

IIED: International Institute for Environment and Economic Development

INP : Institut National de Pédologie

IPTRID (Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage)

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ISO : International Standardization organisation

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

JIASO : Joint Institute for the study of the Atmosphere and Ocean

LASER: Light Amplified by Stimulation Emission of Radiation

LERES : Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé

LDN : Loi sur le Domaine National

MARP : Méthode Accélérée de Recherche Participative

MEACC : Mission d'Etudes et d'Aménagement du Canal du Cayor

MECARTH : Mutuelle d'Epargne et de Crédit des Artisans de Thiès

MOLOA : Mission d'Observation du Littoral Ouest Africain

MSS: Multispectral Scanner

NASA: National American Spatial Agency

NEDECO: Netherlands Engineering Consultants

OCB : Organisation Communautaire de Base

OCCC : Organe Consultatif sur les Changements Climatiques

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

OMVG : Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie

OMVS : Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal

ONG : Organisations Non Gouvernementale

PADF : Programme d'Appui au Développement Forestier

PAEP : Programme d'Appui à l'Entreprenariat Paysan

PDDF : Plan Directeur du Développement Forestier

PAFOCSE : Projet d'Agroforesterie et de Conservation des Sols et des Eaux

PAFR : Plan d'Action Forestier Régional

PAFS : Plan d'action Forestier du Sénégal ;

PAFT : Programme d'Action Forestier Tropical

PAGERNA : Projet d'Appui pour la Gestion des Ressources Naturelles

PAGT : Plan d'Aménagement et de Gestion du Terroir

PAM : Programme Alimentaire Mondial

PANCLD : Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification

PAPIL : Projet d'Appui à la Petite Irrigation Locale

PAR : Programme d'Appui aux Régions

PDDF : Plan Directeur du Développement Forestier

PFIE : Programme de Formation et d'Information Environnementale

PGIES : Projet de Gestion Intégrée des Ecosystèmes au Sénégal

PIDAC : Projet Intégré de Développement Agricole de la Casamance

PIDS: Polarized Intensity Differential Scattering

PLCP : Programme de Lutte Contre la Pauvreté

PMC : Performances Management Consulting

PNAE : Plan National d'Action pour l'Environnement

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

PRCM : Programme Régional de Conservation de la zone Côtière en Afrique de l'ouest

PRDI : Plan Régional de Développement Intégré

PRECOBA : Projet de Reboisement Communautaire dans le Bassin Arachidier (Sénégal)

PREVINOBA : Projet de Reboisement Villageois dans le Nord-ouest du Bassin Arachidier

PRODASPI : Projet de Développement Agro-sylvo-pastoral dans Sept villages-Pilotes

PRS : Projet Rizicole de Sédhiou

PSAOP : Programme des Services Agricoles d'Appui aux Organisations des Producteurs

PTA : Plan de Travail Annuel

REGEFOR : Réforme du Système de Gestion des Forages

RBDS : Réserve de Biosphère du Delta du Saloum

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

RSI : Remote Sensing Institute.

SAED: Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du fleuve Sénégal et de la Falémé.

SAPAD : Structure d'Appui Pour l'Aménagement et le Développement du Delta du Saloum

SAPCO : Société d'Aménagement et de la Promotion de la Petite Côte

SDDR : Service Départemental du Développement Rural

SDLAO : Schéma Directeur du Littoral de l'Afrique de l'Ouest

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SIG : Système d'Information Géographique.

SIGLEC : Société Industrielle de Générateur Electrique.

SNR : Signal Noise Ration

SODEFITEX: Société de Développement des Fibres et Textiles.

SODESP: Société de Développement de l'Elevage dans la Zone Sylvopastorale

SODEVIT : Société de Développement Industriel et Touristique

SRAT : Schéma Régional d'Aménagement du Territoire

SRES : Special Report on Emission Scenarios

SSGM : Société Suisse de Géomorphologie de la Montagne

SSPT : Société Sénégalaise des Phosphates.

UICN: Union Internationale pour la Conservation de la Nature

ULP : Université Louis Pasteur de Strasbourg

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education et la Coopération

USAID: United States Agency for International Development.

UTM : Universal Travers Mercator

WAMME : West African Association for Marine Environment Scientifique

ZCIT : Zone de Convergence Intertropicale

ZEG : Zones Eco-Géographiques.

Avant- propos.

La connaissance des écosystèmes estuariens revêt une importance capitale dans toutes les régions du monde où se remarquent des crises climatiques.

La zone côtière ouest - africaine en général, et sénégalaise en particulier, est une région où une simple péjoration climatique même légère, a un impact négatif sur les bilans sédimentaire et hydrologique.

Ainsi, les sécheresses récurrentes qui ont frappé le Sahel depuis les années 1970, ont engendré un déficit et un stress hydriques visibles à travers le caractère temporaire du régime des cours d'eau, une hyper salinisation et un bouleversement de l'équilibre écologique de beaucoup d'écosystèmes même humides. Ce phénomène naturel a suscité des interrogations portant sur la nature des impacts du changement climatique dans les zones estuariennes et deltaïques en termes de réduction ou d'extension des unités morphologiques. Dans un contexte de changement climatique global, les modifications des écosystèmes de mangrove, tant au point de vue biodiversité et sédimentaire, peuvent constituer des champs d'investigation.

Le Sahel africain garde encore les séquelles de plusieurs décennies de sécheresse qui se sont succédé depuis la fin des années 1960. Ce qui pousse beaucoup de chercheurs à s'interroger sur les effets des changements globaux.

L'analyse des impacts des modifications des conditions climatiques et océanographiques de l'estuaire du Saloum et ses bordures, s'inscrit dans le cadre de cette démarche scientifique.

Les enseignements du professeur Mamadou Moustapha Sall et ses sorties pédagogiques ont réveillé en moi l'amour de la géomorphologie. Cet amour se transforma en intérêt concrétisé par le choix d'un sujet de géomorphologie en mémoire de maîtrise et de Diplôme d'Etude Approfondie (D.E.A). Plus tard, cet amour se concrétisa par une admiration de cette discipline, dictant le choix d'un sujet de thèse de Doctorat de troisième cycle.

Finalement, c'est surtout l'admiration que nous avons pour le professeur Mamadou Moustapha Sall et El hadji Salif Diop qui nous poussait à suivre leurs pas en les prenant comme modèles.

Fort de ce privilège, le choix d'un sujet de géomorphologie dans les îles du Saloum dans le cadre de la Nouvelle Thèse, devient évident.

Ce travail est le résultat de nombreux échanges et de collaboration avec des personnes, à qui nous aimons exprimer toute notre profonde reconnaissance sachant que ces quelques lignes sont insuffisantes pour résumer le précieux rôle qu'elles ont eu à jouer dans le cadre de la préparation de cette thèse.

Ce travail n'aurait pas abouti sans la participation de toute une équipe pluridisciplinaire car, l'étude d'une dynamique, surtout estuarienne, et de ses rapports avec le milieu, nécessite la mise en place d'une équipe et le concours de plusieurs disciplines : géologie, géochimie, minéralogie, hydrologie, biogéographie... Pour ces raisons, plusieurs organismes, ONG et services publics ont été fréquentés ; des conseils et recommandations ont été suivis.

Que leurs auteurs trouvent ici l'expression de notre très profonde gratitude.

Nous sommes très heureux de pouvoir remercier très sincèrement tous ceux qui ont permis l'élaboration de ce document.

Nous désignons d'abord les honorables professeurs El hadji Salif Diop et Mamadou Moustapha Sall qui sont les piliers fondamentaux de ce travail, ensuite nos camarades et amis, collègues de l'UGB Boubou Aldiouma Sy et Madame Aminata Ndiaye de l'UCAD, Issa Sakho de Rouen qui ont apporté leur soutien moral et matériel par les corrections, les suggestions et critiques.

- Mamadou Moustapha Sall qui a encouragé notre curiosité scientifique et suscité en nous l'amour de la géomorphologie.

- Alioune Kane qui nous a mis en rapport avec les enseignements et laborantins de l'ULP de Strasbourg, cela a permis de faire analyser les sédiments par la méthode de granulométrie Laser.

Ni les mots, ni les expressions ne sont suffisants et convenables pour témoigner de ma très profonde gratitude aux éminents professeurs :

- l'ancien Doyen de la FLSH, le professeur Mamadou Kandji par le soutien moral et pédagogique qu'il m'a toujours accordé ;

- Saliou Ndiaye assesseur, et ancien recteur, El Hadji Salif Diop par leur soutien moral et scientifique et leur dévouement à la promotion des enseignants ;

- le professeur Aminata Ndiaye, par ses corrections et suggestions, mais surtout par son soutien sans faille et à tous les niveaux.

Nos remerciements vont aussi à l'ensemble du corps enseignant du primaire à la faculté, avec mention spéciale au professeur Marikary Danfakha, ancien proviseur du Lycée Demba Diop de Mbour.

Nous reconnaissons à travers ces quelques lignes, que notre parcours professionnel est hérité de la qualité de nos enseignants, mais aussi de la chaleur de l'environnement familial.

Il témoigne aussi de la reconnaissance du grand mérite de certains étudiants et étudiantes qui ont participé aux travaux de terrain comme Sidy Faye, Yaye Amy Diohe, Moussa Sané, Fatou Diouf, Ndèye Fatou Ndour, Coura Ba, Ndèye Yaya Diallo, Moussa Dieng, Youba

Coly, Ndèye Senghane Ngom, Famara Bodian, Bouba Bodian, Seynabou Diatta, Lamine Ndong, Aïssatou Ngom, Fatou Maronne Diouf, Ndèye Astou Niang, Babou Diouf, Mame Woury Thioubou, Philippe Malick Dione, Kama Pascal, Tassé Faye, Sine Fall, Mame Codou Sène, Bineta Faye, Mbagnick Faye, Khady Kama, Mame Aïssatou Touré, Kalatoume Bodian, Boubacar Diouf, Khadidiatou Sonko, Anta Seck et Bineta Sène. Les travaux de terrain ne seraient jamais possibles sans la collaboration de nos étudiants et collègues ayant participé aux différentes missions d'échantillonnages et de mesures. Qu'ils trouvent à travers ces mots, l'expression notre profonde gratitude.

Ce travail est le fruit de leurs efforts et résulte en partie de la collaboration avec d'éminents chercheurs et des séjours passés dans de nombreux instituts et laboratoires.

Beaucoup d'interrogations ont été posées, comme l'évolution des données climatiques à partir des années 1980, leurs impacts sur l'hydrodynamique et les processus de sédimentation.

Nous reconnaissons le mérite des honorables professeurs et éminents chercheurs Jean Luc Mercier, Jean Trautmann à l'ULP de Strasbourg Madame Martine Trautmann au laboratoire de Sédimentologie de l'ULP, à Madame Marie Claude Saad du Laboratoire de palynologie de l'université de Nanterre.

L'interprétation des images satellitaires a été faite par Khady Kama, Bineta Faye, Mame Aïssatou Touré et Mbagnick Faye; qu'ils trouvent ici, l'expression de notre très profonde gratitude. Nos cartographes n'ont pas été oubliés; nous voulons citer Abdou Lahat Tall, Ndèye Astou Niang, Fatou Mar Dia, Feu Ousmane Seck; de même que nos soutiens en Europe, comme Assane Cissé en France, et Rose Sy en Italie, élèves et amis de longue date, à qui nous renouvelons notre profonde gratitude.

Le soutien des Chefs de village des localités insulaires et riveraines a été d'un grand apport moral et matériel. Que les notables Mamadou Kana Ndiaye (Dionewar), Bakary Sarr (Moundé) le vieux Demba (Bétenti), Saloum Diouf (Latmingué), Etienne Diop (Fayil), Ngor Basse (Faoye), Pape Seye (Ndiémou) apprécient à travers ces lignes, l'expression de notre très haute considération.

Des collègues et des laborantins nous ont aidé par leurs conseils et critiques; par leurs connaissances des méthodes d'analyse d'eau et de sédiments et leur disponibilité; citons Boubou Aldiouma Sy de l'UGB, Abdoulaye Faye au département de géologie à la faculté des sciences et techniques de l'UCAD. Divers services nous ont été rendus dans les différents centres de documentation que nous avons eu à fréquenter.

Résumé :

Après avoir présenté le Saloum et ses régions de bordures, l'étude a montré que les données géologiques, paléogéographiques hydrogéologiques et historiques ont révélé que la région a subi plusieurs types de changements depuis sa formation dans le bassin Secondaire et Tertiaire, jusqu'à la situation actuelle. Les données climatiques ont révélé une recrudescence des vents à partir de 1987, la prédominance et le renforcement des vents générateurs de pluie de mousson et du placage de sable éolien sur les vastes étendues de tannes nus, un accroissement du volume d'eau précipité dans toutes les stations à partir de 2000, des précipitations plus importantes au Sud, au centre et à l'Est des îles et un nombre d'années excédentaires va croissant de l'Est vers l'Ouest. L'augmentation des précipitations va baisser le taux de salinité des masses d'eau marine et l'accroissement des températures va entraîner une dilatation thermique diminuant la densité d'où un impact sur le schéma général de leur circulation

Dans l'ensemble, les déficits hydriques récurrents ont engendré l'accentuation des processus éoliens et l'extension des tannes aux dépens des terres agricoles et l'ensablement des rizières. L'étude sédimentologique a aussi révélé l'existence d'un sable noir coquillier dans l'ensemble des grandes lignes comme le Saloum et le Sine. Elle a aussi montré que le stock sédimentaire est homogène attesté par une distribution leptokurtique et un Skewness partout négatif donnant une dissymétrie à gauche.

Dans le cas du Saloum, les régions regorgent d'importantes nappes souterraines, mais affectées par la salinité. Les sols sont affectés par une dégradation qui paraît irréversible surtout dans les mangroves et dans les terres de cultures où se remarque un processus de "tannification" favorisé par la faiblesse de la topographie. Dans le domaine insulaire et le long du Sine, l'accroissement de la superficie des tannes, aux dépens du bas plateau du CT, les efflorescences salines de surface, handicapent le développement du couvert végétal. Vu les problèmes environnementaux nés de la crise climatique, les populations locales appuyées par les ONG, ont tenté des aménagements pour atténuer le déficit en eau potable. Ainsi, l'aménagement intégré des terres salées à des fins agricoles a réussi dans certains villages des régions de bordures, mais aucune des vallées fossiles n'est revitalisée. La lutte contre l'érosion, la salinisation et la dégradation des Forêts Classées, n'a pas atteint ses objectifs.

En définitive, le changement climatique a affecté négativement les organismes deltaïques et estuariens.

Mots clés : changement climatique, sédimentologie, distribution leptokurtique
Skewness, dissymétrie à gauche.

Abstract:

After presenting The Saloum and its border regions, the study has shown that geological, paleogeographical, hydrogeological and historical data have revealed that the region has undergone several types of changes from its formation in the secondary and tertiary basin, to the current situation. Climate data have shown an increase in winds from 1987, the predominance and strengthening of winds that favor monsoon rain and Aeolian sand veneering on the vast expanses of bare 'tans', an increase in the volume of water rushed into all stations from 2000, higher rainfall in the southern, central and eastern parts of the islands and a number of surplus years increasing from east to west. Increased precipitation will drop the salinity of sea water masses and rising temperatures will cause thermal expansion decreasing their density, and therefore impacting their general circulation outlook.

Overall, the recurrent water shortages have led to the accentuation of Aeolian processes, the expansion of 'tans' to the detriment of agricultural land, and to the silting of rice fields.

The sedimentological study has also revealed the existence of shellfish black sand in all major lines like The Sine and The Saloum. It has also shown that the sedimentary stock is homogeneous and evidenced by leptokurtic distribution and altogether negative Skewness, giving leftward asymmetry.

Regarding the Saloum region, all areas are full of important aquifers, but affected by salinity. Soils are affected by harsh deterioration which seems irreversible mainly in the mangroves and in the farmlands where a 'tannification' process favored by the weakness of the topography is noticed. In the insular area and along The Sine, the extension of the 'tan' areas at the expense of the low TB plateau, and surface salt efflorescence, hamper the development of the vegetation cover. Given the environmental problems arising from the climate crisis, local people supported by NGO, have initiated land development projects to mitigate drinking water shortages. Thus, the integrated saline land development projects for agricultural purposes have been successful in some villages of the riverside areas, but none of the fossil valleys has been revitalized. The fight against erosion, salinization and degradation of classified forests, has not reached its objectives.

Ultimately, climate change has negatively affected the deltaic and estuarine organisms.

Keywords: climate change, sedimentology, leptokurtic distribution, Skewness, leftward asymmetry.

Introduction générale :

Les domaines littoraux sont en constante évolution soit, par le fait d'un mouvement tectonique, soit, par la succession transgression – régression. Selon Pirazzoli P. A, (1996) « même pour une situation tectoniquement et climatiquement stable, de nombreux processus physico-chimiques et biologiques tendent à déplacer constamment les rivages ».

L'érosion du littoral se révèle donc un phénomène naturel qui se manifeste sur tous les rivages du monde.

Le littoral ouest africain s'étend sur plus de 9780 km de côte depuis le Cap Blanc en Mauritanie au nord, en passant par les côtes à estuaires des Rivières du Sud, aux côtes lagunaires et aux cordons littoraux du Golfe de Guinée jusqu'à l'immense delta du Niger au Sud-est et au Cameroun.

Ensemble morphologique complexe, ce littoral est un domaine où se rencontrent des cordons littoraux récents, des cordons anciens, des lagunes côtières, estuaires à mangroves, et côtes rocheuses.

Se rencontrent au nord, des falaises rocheuses et de vastes estrans sablonneux, des estuaires à mangroves et des cordons sablo-coquillers.

Lors de la transgression nouakchottienne, la mer a envahi le continent sur plusieurs kilomètres selon les endroits, créant ainsi un vaste système d'estuaires.

Mais, les dérives littorales Nord-sud et Sud- nord, aidées par les apports des grands fleuves, édifient des cordons sableux fermant les golfes, engendrant des lacs et des lagunes.

Ce littoral est soumis à d'importants processus hydrodynamiques et éoliens dont les réponses sédimentaires diffèrent d'un secteur à l'autre en raison des impacts des changements climatiques.

Les travaux d'Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010) ont montré que « le littoral ouest africain figure parmi les plus fragiles du fait de la morphologie des côtes et du manque de stratégie de lutte efficace contre l'érosion. En Afrique de l'ouest, les vents et les houles alimentés par le courant de Guinée qui déplacent les courants d'Ouest en Est, érodent naturellement la côte.

En effet, de la Mauritanie au Cameroun, la vitesse de l'érosion dépend de la configuration des côtes par rapport aux houles, du substratum et de l'évolution quaternaire des différents segments littoraux ».

Selon le Programme Régional de Conservation de la Zone Côtière en Afrique de l'ouest (PRCM 2004), c'est dans ce milieu que sont situées les principales agglomérations urbaines et où vivent près de 60 % des habitants des pays côtiers de l'Afrique de l'ouest.

En Mauritanie, plus du tiers de la population vit le long de la zone côtière, alors qu'en 1950, la zone était presque inhabitée (Mint Sneh, 2006). Le niveau d'urbanisation le long du littoral est de deux fois plus élevé que dans l'hinterland.

En 2007, la commission programme régional de lutte contre l'érosion côtière de L'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA), soulignait en « Afrique de l'Ouest, le long du golfe de Guinée, les sécheresses, les inondations, la violence des vents, le déphasage des saisons, mais aussi l'érosion témoignent des aléas climatiques. Les facteurs naturels sont liés à la géomorphologie des côtes (faible pente, substrat sableux) et à des phénomènes hydrodynamiques provenant de l'océan (remontée du niveau de la mer, courants, insuffisance des apports sédimentaires des fleuves, etc.). Les facteurs anthropiques découlent des divers aménagements portuaires, des ouvrages sur la côte et des prélèvements divers (sables, graviers, etc.) entraînant ainsi la perturbation de l'équilibre naturel ».

Les pays du Golfe de Guinée sont les plus vulnérables à l'érosion côtière à cause de la morphologie des côtes et du manque de stratégie efficace de lutte contre le phénomène. Cette morphologie de la côte est perceptible à travers le cloisonnement sédimentaire côtier observable dans certains littoraux structurés en caps et anses, des apports sédimentaires piégés dans les zones les plus étroites du plateau continental.

Plusieurs pays sont menacés par le phénomène de l'érosion côtière ; c'est le cas :

- de la Mauritanie où la capitale est l'endroit le plus exposé ;
- du Sénégal où la plus grande partie du littoral, est concernée par l'avancée de la mer.

Actuellement, on assiste à une recrudescence des problèmes d'érosion côtière au Sénégal. Les sites les plus touchés sont ceux où il y a beaucoup d'activités économiques et de populations : Saly, Joal (ouest) et Saint-Louis (nord) notamment'', souligne Niang Isabelle Diop en 2005.

Dans le Golfe de Guinée, le rythme de l'érosion est important. On note plus de 10 m par an de recul du trait de côte à Cotonou (Cécile Anne, 2011).

En Côte d'ivoire, les côtes sableuses sont érodées à une vitesse de 2 à 3 m par an (Koffi Philibert 1992). En Sierra Leone, le recul du trait de côte est 6 m par an (Ibé A et Quelennec, 1989).

Les vitesses sont plus importantes dans les côtes vaseuses (Guinée) et sableuses (Golfe de Guinée) que dans les côtes rocheuses (Sénégal).

Les villes comme Lagos, Banjul, Bissau et Nouakchott, avec leur basse topographie sont les plus menacées car elles se situent en dessous ou à proximité du niveau de la mer.

Niang (2005) confirme cette explication à l'Inter Press Service (IPS) : ''Les plages et les sites de certains hôtels, qui accueillent des touristes, sont menacés.

Selon Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010), « cette avancée concerne d'autres secteurs ; les pays suivants sont touchés :

- la Gambie où le secteur allant de Cape Point à Bald Cape ;
- la Guinée-Bissau où les estrans de Varela, ceux de l'île de Bubaque et des îlots de Porcos et de Melo sont les plus menacés ;
- la Guinée Conakry où les péjorations climatiques ont perturbé le régime des cours d'eau par envasement et ensablement ;
- la Sierra Leone, où le sable, matériau indispensable à la construction, est prélevé directement sur les plages du pays jusqu'à l'excès. La surexploitation du sable a entraîné une avancée de la mer qui provoque une érosion des côtes et menace l'environnement et les villages installés près des plages ».

Les phénomènes naturels sur le littoral ivoirien ont été analysés par Souleymane Diabagate en 2008 et selon ses écrits, « le littoral ivoirien subit 4 phénomènes naturels à savoir l'érosion côtière, les inondations, les tsunamis et l'élévation du niveau de la mer. L'érosion côtière n'est pas spécifique à la Côte d'Ivoire.

En Côte d'Ivoire, cette érosion se manifeste à plusieurs endroits du littoral. Le recul se fait entre 0 et 3 mètres / an en moyenne et affecte la majeure partie de la côte sableuse (Hauhouot, 2002).

Le taux moyen d'érosion des plages varie de 1 à 3 m/ an selon les proportions suivantes:

La section de côte Tabou-Sassandra est relativement stable avec néanmoins des points d'érosion (1 m/an au maximum) et d'accrétion (Livre Blanc du Littoral Ivoirien, 2004).

Selon la même source, « la section de côte Sassandra-Vridi-Port-Bouët qui présente des signes inquiétants d'érosion. Le recul se fait d'environ 3 m/an depuis les années 2000.

La section de côte Port-Bouët jusqu'à la frontière du Ghana. Au niveau de cette section, le recul est estimé à 1m/an et menace les équipements touristiques.

L'érosion côtière est le problème le plus important observé sur le littoral ivoirien avec des vitesses pouvant atteindre 3m/an ».

L'érosion constitue un problème chronique le long de la côte ghanéenne, où « les taux d'érosion élevés affectent les infrastructures côtières ainsi que les précieuses ressources culturelles. Près de 50 % vivent le long de la côte, et des taux aussi élevés que 1m/an d'érosion ont été constatés près de la capitale du pays, Accra. La géomorphologie du littoral varie largement de lagunes côtières bordées de plages formant des barrières naturelles, des falaises rocheuses qui délimitent d'étroites plages, et un vaste système deltaïque dominé par la houle ».

D'après une étude publiée en 2007 par l'International Institute for Environment and Economic Development (IIED), l'érosion du littoral pourrait rayer de la carte les zones de Donaten, Tokplegbe, Finagnon, Akpakpa-Dodomey et Jak, dans l'est du Bénin, si rien n'est fait pour freiner l'avancée des eaux.

L'International Institute for Environment and Economic Development (IIED) a dressé « une carte des routes, des systèmes d'écoulement des eaux, des trottoirs et des plantations de cocotiers qui ont déjà commencé à disparaître. Les cartes et les images de l'est de Cotonou obtenues par télédétection entre 1963 et 2000, montrent un recul du littoral de plus de 400 mètres dans la zone située à l'est du port Cotonou ».

« Les effets de l'érosion côtière sont énormes à Akpakpa et Fidjrossè dans la capitale économique du Bénin. Les habitations abandonnées s'effondrent et des infrastructures sont menacées. L'avancée de la mer a été atténuée par l'interdiction de l'exploitation du sable marin par le gouvernement ».

De l'avis des spécialistes en aménagement, la mer avance ces dernières années à un rythme exceptionnel de Hilacondji à Kraké en passant par Grand-Popo, Ouidah, Cotonou et Sèmè-Kpodji ».

« Au Togo, l'érosion côtière a commencé en juin 2012. Une dizaine de villages sur la côte sont touchés par le phénomène d'érosion côtière et pour ces villageois, la situation s'est aggravée depuis les travaux de construction du 3ème quai au port de Lomé.

De surcroît, ces dernières années, selon l'organisation de M. Médjè, l'érosion du littoral a rayé de la carte 460 champs et détruit 47 maisons, et menace plus de 1 000 propriétés à Cotonou (IIED 2007 op cit) ».

Enfin, c'est le cas d'autres comme au Gabon, où l'érosion côtière a laissé des impacts perceptibles sur leurs littoraux par le démolissement des installations touristiques et par l'ensablement des ports.

Tout au long du littoral ouest africain, l'érosion côtière est attribuable à des processus naturels, comme l'importance des vents et par conséquent, celle de la houle et de la

pluviométrie, à laquelle s'ajoute l'érosion éolienne qui joue un rôle important dans le budget sédimentaire côtier.

Cette dynamique est facilitée par plusieurs paramètres: disponibilité d'un stock sableux fin et une forte insolation, selon Niang Isabelle Diop (1995) citant Ibé et Quelennec, (1989), « à l'échelle de l'Afrique de l'ouest et du Centre, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), dans le cadre de son Programme pour les Mers Régionales, a pu identifier les problèmes d'érosion côtière auxquels sont confrontés les 21 pays de cette région. D'autres pays africains comme l'Afrique du Sud, le Kenya, l'Ile Maurice, le Mozambique, les îles Seychelles et la Tanzanie sont aussi concernés par le phénomène. Certains de ces pays se sont associés sous l'égide du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) dans un projet régional sponsorisé par le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM).

Ce projet intitulé "Processus africain de développement et de protection de l'environnement marin et côtier de l'Afrique subsaharienne", fait partie d'une série d'initiatives de gestion des côtes. L'objectif de ce projet est de mettre en place des synergies entre les pays côtiers et de rechercher des solutions régionales à des problèmes communs.

En effet, certaines initiatives ont été prises par beaucoup d'organisations contre la dégradation de l'environnement marin et côtier. Nous pouvons citer : l'Adaptation aux Changements Climatiques et Côtiers en Afrique de l'ouest (ACCC), le Programme Régional de Conservation de la zone côtière en Afrique de l'ouest (PRCZCA), le Schéma Directeur du Littoral de l'Afrique de l'Ouest (SDLAO), la Mission d'Observation du Littoral Ouest Africain (MOLOA). En examinant la région de près, nous remarquons avec Diop, E S. (1993) « que la zone côtière de l'Afrique Occidentale s'étend sur environ 4 400 km, depuis les rivages du désert de sable de la Mauritanie au nord, en passant par les côtes profondément découpées des îles et des estuaires (par exemple la Guinée Bissau avec son archipel des Bijagos), jusqu'aux côtes lagunaires et aux cordons littoraux du Golfe de Guinée. L'immense delta du Niger et du Cross River forme son extrémité orientale ».

L'intense énergie des courants marins sur les côtes d'Afrique de l'Ouest continue à accélérer le phénomène de l'érosion côtière qui constitue depuis quelques années un problème sérieux, sur la plupart des littoraux africains (Programme des Nations Unies pour l'Environnement UNEP 1999). La réduction des débits sableux, en raison des barrages et de la perturbation du transport des sédiments marins par l'ingénierie côtière comme les développements portuaires, ont exacerbé ce processus. Certains rivages, comme c'est le cas de la Langue de Barbarie au

niveau de l'embouchure du fleuve Sénégal, sont constamment exposés à des phénomènes d'érosion et d'accrétion (Diop, E S 1993).

Selon Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010), « cette zone côtière comporte des estrans à configuration et à faciès différents :

- estrans sableux de Mauritanie et plages associées à des dunes continentales ogoliennes;
- plages associées à des cordons dunaires isolant des dépressions de type sebkhas perceptibles en Mauritanie ;
- falaises à matériaux volcaniques de la Presqu'île du Cap Vert formant une côte très festonnée, entaillée dans des roches volcaniques tertiaires et quaternaires ;
- plages bordées de dunes continentales ogoliennes ou ourlées de cordons dunaires littoraux post-ogoliens abritant les Niayes ;
- plages associées à des cordons dunaires isolant des dépressions de type Niayes comme le long de la Grande Côte au Sénégal ;
- plages associées à des cordons littoraux isolant des marigots côtiers, c'est le cas entre les falaises de la Presqu'île du Cap Vert et du littoral du massif de Ndiass
- plages associées à des dunes continentales ogoliennes au Sénégal dans le secteur de Somone à Mbour ;
- plages associées à des dunes littorales semi-fixées remarquables au sud de Mbour, au nord de la pointe Sarène, sur le littoral sénégalais entre l'exutoire de la Kotu Stream et Kafountine ;
- plages bordées de cordons dunaires post-nouakchottiens et isolant des lagunes et des vasières à mangrove dans les systèmes estuariens de la Somone jusqu'à la Guinée Bissau ;
- plages associées à des cordons sableux isolant des vasières à mangrove bordant le système estuarien de Joal au Saloum, les secteurs nord de la côte gambienne entre Djinack au sud de Bétenty et Bara en Gambie. Elles accompagnent aussi le littoral casamançais et Bissau-guinéen ;
- plages de poche et les plages adossées à des falaises comme le cas des plages de la Baie de Cansado en Guinée Bissau ».

Le long de cet ensemble morphologique, de la façade maritime de l'estuaire du Sénégal à la Guinée-Bissau, Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010 op cit) a dénombré 14 flèches sableuses. Elles comprennent plusieurs types :

- Les flèches d'estuaires comme la Langue de Barbarie, la pointe de Sangomar et la Presqu'île aux Oiseaux ;
- le deuxième groupe de flèches concernent la flèche de Mbodiène et la flèche de Joal.

-les flèches de Saint-Mary, les 3 flèches dont celle de Banjul, la flèche de Balde Cape, la flèche de Saniang Point, la flèche de Kartrung Point, la flèche du Cap Roxo, la flèche de Varela, la flèche d'Acapa. Ces flèches et la dynamique sont illustrées par les figures N° 1 et N° 2.

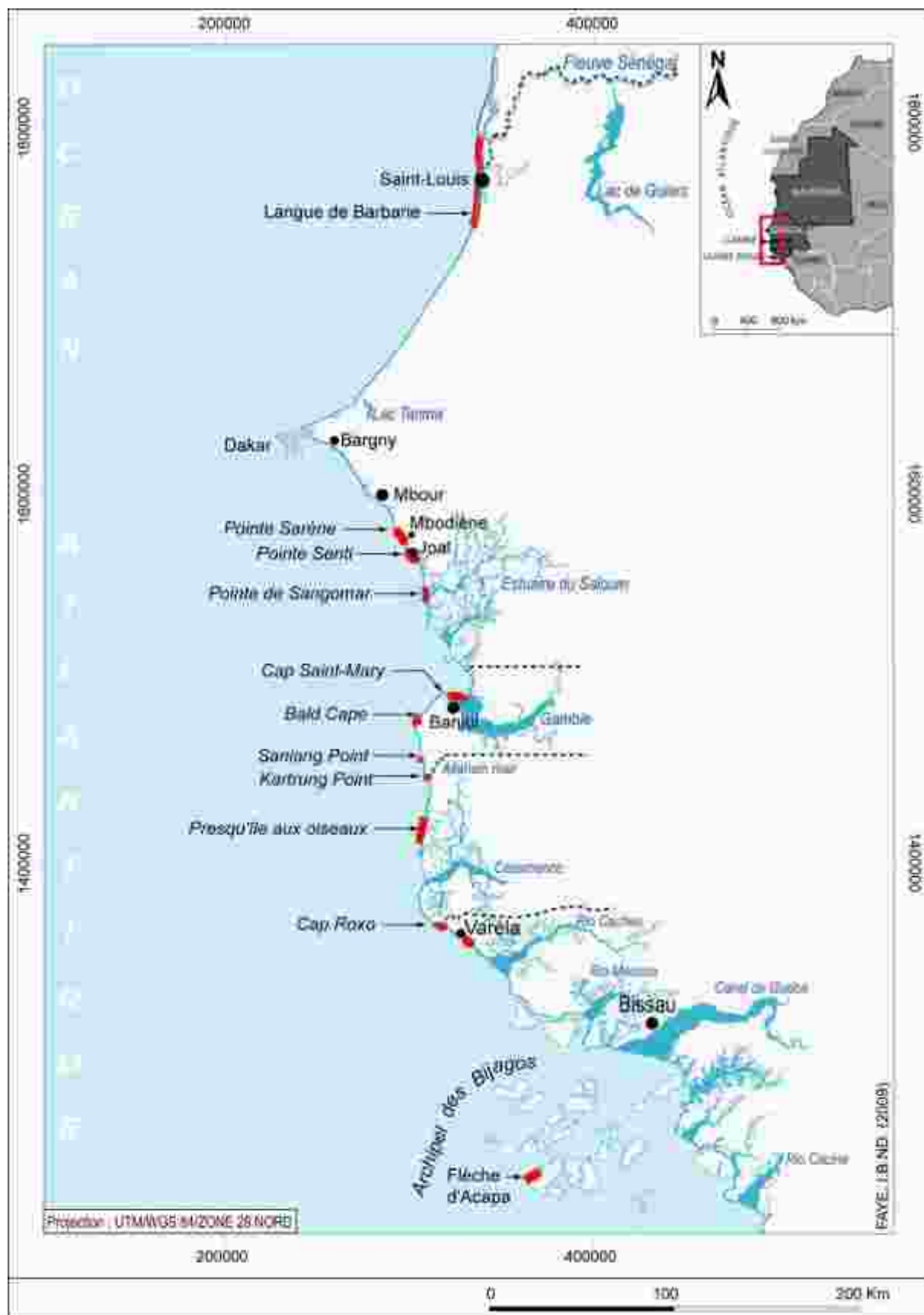


Figure 1: localisation et orientation des flèches sableuses sur le littoral Sénégalais – Bissau-Guinéen.

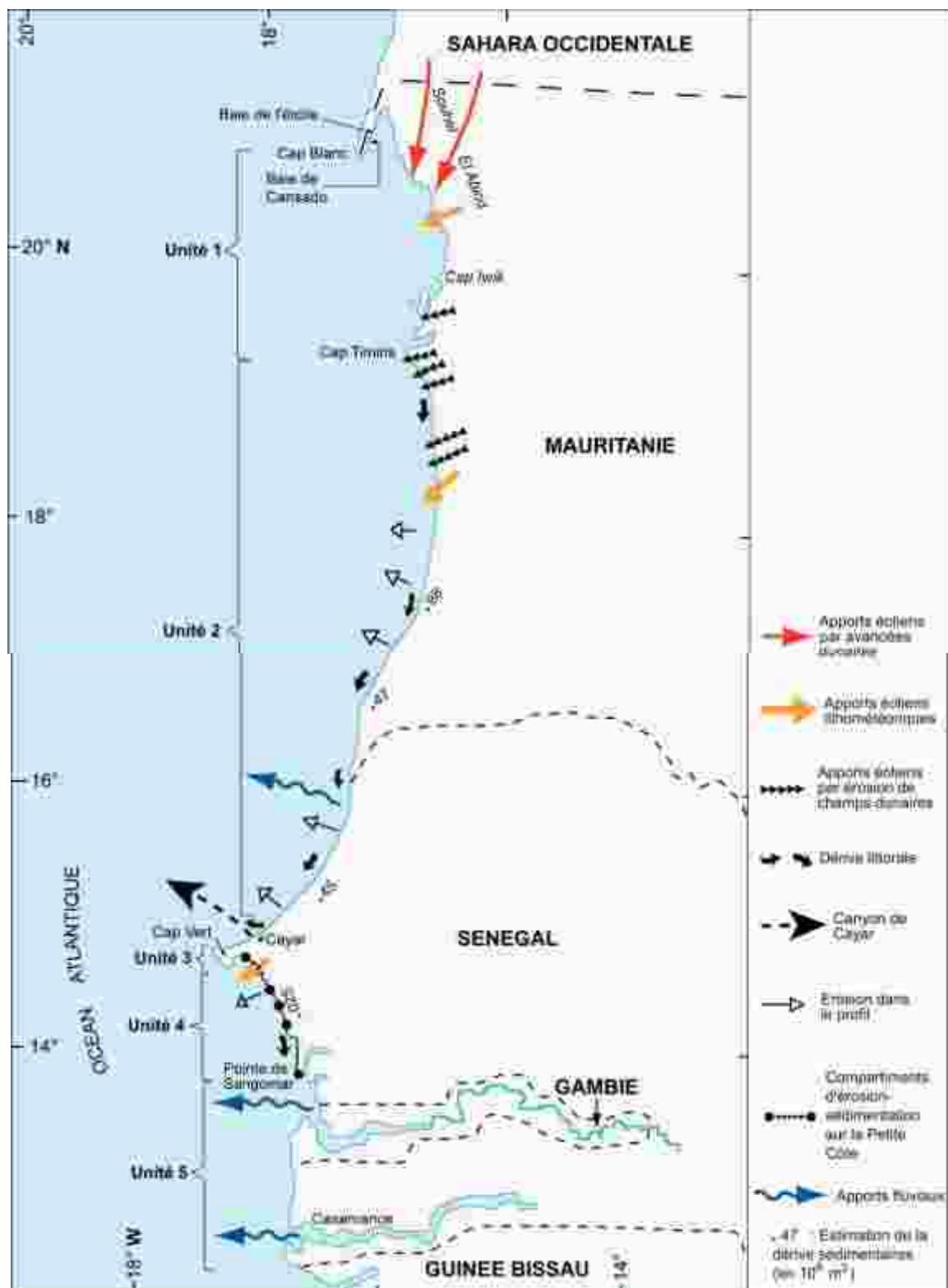


Figure 2: dynamique et segmentation du littoral sénégal-mauritanien (modifié).
Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010)

Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010) citant le C.S.E., (2004), Elouard, (1980) ; Sall, (1971 ; 1982), Diaw et *al.* (1991); Diaw, (1997) ; Thomas et Diaw, (1997) Thomas et *al.* (1998), soutient qu'au Sénégal, « l'érosion côtière touche aussi sévèrement les plages très touristiques de la Somone à Saly qui perdent presque 1 m/an (C.S.E., 2004). Ces sites sont localisés à l'extrémité d'une petite baie dans laquelle se trouve Mbour où la ligne de rivage recule moins rapidement ($< 0,45$ m/an). Le recul est également très faible pour les falaises et les plages adossées de Fann et du Cap de Naze. L'évolution du pied et du haut de falaise dans les secteurs de plages adossées, résulte principalement des actions alternées ou simultanées de la mer qui attaque la base de la falaise et déblaie les éboulis, ainsi que des pluies qui ravinent les horizons meubles des falaises et provoquent des mouvements de masses boueuses principalement sur les versants des falaises marneuses et argileuses (Elouard, 1980 ; Sall, 1971 ; 1982) ».

La rupture du Lagoba a engendré une érosion rapide de la racine de la flèche à une vitesse comprise entre 280 et 700 m/an de 1987 à 1994 et a transformé la partie distale de Sangomar en une île – barrière dont l'extrémité sud continue de progresser grâce à l'apport de sédiments par la dérive littorale (Diaw et *al.* 1991 ; Diaw, 1997 ; Thomas et Diaw, 1997 Thomas.

La pointe de Sangomar aurait connu seulement 4 ruptures antérieures à celle de 1987 (1860, 1928, 1952 et 1954) (Diaw, 1997) contrairement à la Langue de Barbarie qui en a enregistré plus d'une cinquantaine.

Ce phénomène se serait produit à l'extrémité de la flèche de Mbodiène après la rupture de 1974 au nord de Ngazobil et s'est reproduit aussi après celle de 2003 (Ngami-Tsiba-Andzou, 2006), alors que dans le cas de la pointe de Sangomar qui borde une embouchure plus large (1,5 à 4,5 km), la partie distale s'est insularisée ».

Cette érosion, le long de la côte qui est caractérisée par une alternance de segments d'accumulation et de secteurs de démaigrissement, sous l'action de la dérive littorale, a contribué en partie à l'édification des flèches parallèles à la ligne de rivage. Presque toutes ces flèches sont orientées vers le Sud conformément à la direction de la houle du NW.

En Guinée-Bissau, Pennober (1999) a souligné « le recul des falaises de l'île Meio, du nord de Caravela et l'accroissement de la flèche d'Acapa dans l'Archipel des Bijagos ».

Parmi ces types de plages et de flèches, intéressons-nous au phénomène d'érosion dans l'estuaire du Saloum. Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010), en étudiant l'érosion au niveau l'estuaire du Saloum dans les périodes 1979 – 1986 – 2000, a abouti aux résultats suivants « sur les deux périodes d'étude, hormis les deux petites îles qui se sont développées au sud et au Nord-ouest de l'île aux Bœufs, l'évolution de la position de la limite de

végétation n'a été significative par rapport à la marge d'erreur qu'aux extrémités nord et sud de l'île aux Oiseaux. Il a noté une progression de plusieurs mètres, des deux pointes méridionale et septentrionale et une augmentation de la surface de l'île.

« Si on compare les vitesses de progression des deux pointes de l'île sur les deux périodes d'étude, on constate un accroissement de la vitesse de progression de la pointe sud qui est passée de 60,29 m/an entre 1978 et 1986 à 77,50 m/an de 1986 à 2000. Pour la pointe nord, la situation est inverse. Le taux d'évolution est passé de 164,69 m/an dans l'intervalle 1978 – 1986 à 56,08 m/an de 1986 à 2000, Ibrahima Birame Ndébane Faye (2010)».

Dans le cadre de l'étude de l'estuaire du Saloum et de ses bordures, nous estimons, que le sujet choisi, cadre avec la situation actuelle des changements globaux. Ces changements ont perturbé l'ensemble des écosystèmes même humides des régions tempérées aux zones équatoriales.

Le Sénégal, pays soudanien dans sa plus grande partie, et plus particulièrement, les îles du Saloum, n'échappent pas à cette tendance.

Il s'agit de par cette situation, de voir, les impacts sur le plan écologique et géomorphologique dans l'estuaire du Saloum et ses bordures.

C'est ainsi qu'après une présentation globale de l'ensemble de la région et de ses zones d'influence, sont abordés les facteurs de la morphogenèse, la dynamique du milieu. Ensuite, sont passées à la loupe, les modifications liées à aux facteurs de la morphogenèse et l'état actuel de la région. En effet, le problème environnemental majeur demeure le processus d'extension des tannes et la salinisation des terres et des eaux douces.

L'objectif final est d'analyser les modifications physiques liées au contexte climatique actuel. Et pour ce faire, plusieurs ouvrages, thèses, articles et revues nous ont servi de base.

Synthèse bibliographique.

D'éminents spécialistes et chercheurs ont étudié tous les domaines des écosystèmes amphibies où cohabitent hommes, eaux, faunes et végétation particulière. Leur histoire, leur géographie et leur biologie ont été analysées, détaillées, bien que quelques mystères liés à la complexité du système subsistent.

L'estuaire du Saloum a longtemps intéressé les chercheurs même durant la colonisation ; pour preuves, nous avons les travaux de Coffinière de Nordeck (1885), ceux de Noirot (1892), qui s'inscrivent dans le cadre de la recherche de voie d'accès vers l'intérieur.

A cela s'ajoutent ceux de Minot (1934) puis Pelnard Considère (1959) et de Diop S (1976).

Déjà en 1885, Coffinière de Nordeck avait mené une étude sur la navigabilité du fleuve (Diaw A T 1997).

Les colonisateurs, en vue d'exporter l'arachide vers la métropole, pensaient que certains chenaux du Saloum communiquaient avec la Gambie alors que des bancs sableux implantés, constituaient l'obstacle. En effet, la carte hydrographique qu'a établie Mage E (1863) permettait la compréhension de la dynamique de ces bancs. Dès lors, on comprend que le milieu est constitué de nombreuses unités morphologiques d'origine et de nature complexes parmi celles-ci, nous retenons les formes désignées localement ou scientifiquement sous le vocable de tanne.

Dès 1905, les civilisations indigènes des Rivières du Sud et du Fouta Djallon, ont été analysées par Machat J et en 1953 Mauny R a donné sa contribution à l'étude des buttes de coquillages du Saloum, en essayant de découvrir leur mystère.

En 1942, Urvoy Y comme pionnier, force l'admiration par la richesse et l'exactitude des observations qu'il a faites sur l'influence du climat et ses variations sur la morphogenèse par une alternance de périodes humides et de périodes sèches.

Dans les années 1970, Descamps C et Thilmans G y ont assimilé les amas coquilliers à des tumulus, et ont même avancé des hypothèses sur l'édification de l'amas de Diorom – Boumak.

L'étude de la région naturelle du Sine-Saloum remonte bien avant l'indépendance avec les ouvrages de Massibot J.A. et Carles L, (1946) et d'Adam J. G (1958) qui ont écrit respectivement sur les tannes et la végétation des terres salées.

D'autres spécialistes utilisent la télédétection pour cartographier le changement des paysages ainsi, Diop S et *al* (2000), Moreau (2004) se sont focalisés essentiellement sur l'évolution des forêts de mangrove du delta du Saloum.

L'évolution des nouvelles technologies a permis d'avoir une vision globale de l'espace estuarien à travers des images satellitaires et de mieux apprécier la complexité des formes observables. Verger F, Sall MM et Diop E S (1978) ont produit une cartographie automatique du littoral tropical à partir des données Landsat. Diop E S, Sall MM et Barusseau J P (1984) ont établi une comparaison des caractéristiques hydrodynamiques des deux environnements estuariens : le Sine - Saloum et la Casamance à partir d'un essai de corrélation avec les données de l'imagerie Landsat. Ces techniques ont permis de bien délimiter les unités morphologiques.

Les études géomorphologiques ont été les plus diversifiées. Dès 1958, Berthois L, a analysé la formation des estuaires et Sall M.M en 1975 et en 1979, a étudié le Gandoul et les îles Bétenti, et l'évolution des lignes de rivage Holocène dans les îles du Saloum. Kalck Y, (1978) a tenté d'analyser l'évolution des zones à mangrove du Sénégal au Quaternaire Récent en étudiant la géologie et la géochimie.

Entre 1978 et 1980, Diop E.S a décrit le bas plateau continental du Saloum par l'observation des résultats sédimentologiques. En 1979, il s'est servi de l'imagerie Landsat pour délimiter les milieux estuariens.

Sall MM (1971) avait déjà écrit sur la dynamique et la morphogénèse au Sénégal occidental. Il a insisté sur les actions mécaniques observées sur les falaises, l'influence de l'érosion continentale sur l'évolution du littoral et l'importance de la texture et de la structure dans la vitesse d'érosion. En 1980, il a mis l'accent sur les vasières à mangrove, tannes, et cordons sableux pour observer leur dynamique et analyser leurs processus de sédimentation.

De leur côté, Barusseau J. P, Giresse P. Monteillet J et *al* en 1983, ont analysé les conséquences sédimentologiques de l'évolution climatique récente dans le delta du Saloum.

Les travaux géomorphologiques de Diop E S (1986) ont permis de connaître les formes estuariennes et leur évolution du Quaternaire Récent à l'Actuel. Il a ensuite mené une étude comparative des estuaires du sud de la rivière du Saloum à la Mellacorée (république de Guinée). Thiam M D (1986) en expliquant la dimension géographique des tannes dans l'espace tropical, pose la problématique de la terminologie locale des tannes et insiste sur les aspects statiques qui tiennent de leur origine et ceux dynamiques qui proviennent d'une série de facteurs et d'agents que sont les marées, les précipitations et l'évaporation.

Il considère la dynamique tidale comme l'élément fondamental d'explication des tannes et qui peut avoir une certaine influence sur la pédogénèse.

Thiam. M. D (1986) et Sadio S (1991) ont aussi caractérisé les unités géomorphologiques du Sine Saloum. Pour eux, l'aridité du climat, l'hydrologie et la topographie faible de la zone sont les principaux facteurs de la dynamique des formes.

Ils soulignent aussi que les processus de salinisation se font par remontée capillaire, par submersion, par le vent à travers les embruns et par le lessivage des eaux pluviales, qui entraîne des accumulations de sel.

Par ailleurs, Gningue I, en 1991, a souligné les variations des facteurs physico-chimiques dans l'estuaire du Saloum. Et de 1986 à 1991, l'EPEEC a coordonné l'étude des estuaires et lagunes du Sénégal.

Diaw A T, en 1997, a étudié l'évolution des milieux littoraux du Sénégal, en s'appuyant sur la télédétection pour analyser les données géomorphologiques. Des pages ont été réservées aux îles du Saloum avec beaucoup de cartes à l'appui délimitant toutes les unités morphologiques.

Kalck Y (1978), Diop (1980), et Diop E.S et Sall M.M (1986), se sont appesantis sur l'extension des tannes aux dépens de la mangrove.

Thiam M.D (1986), a également, dans sa thèse, étudié les tannes dans le Sine-Saloum. Selon lui, ils sont dus à une baisse importante des précipitations, à l'augmentation des températures moyennes mensuelles donc à une hausse marquée de l'évaporation ; ce qui entraîne la forte salinité des terres. Toujours selon le chercheur, c'est cette salinité «qui confère au tanne des états de surface pouvant aller de l'hydromorphie à la sécheresse totale et l'apparition d'efflorescences salines, de touffes herbacées halophiles, pouvant aboutir à une véritable pelouse ».

Sadio S (1991), précise que l'existence des tannes dans ces zones, remonte de très loin dans le passé, révélée par les études antérieures, mais la dégradation et leur extension n'ont été aussi importantes que maintenant.

Une étude effectuée par Marius en 1975 dans les estuaires du Saloum, de Gambie et de la Casamance, montre que le sédiment sur lequel se développe la mangrove, est relativement identique dans les trois estuaires.

Au point de vue paléogéographique, selon Vieillefon (1968), le Quaternaire apparaît comme le véritable traceur ou marqueur de la mise en place de ces formes. Pour Michel P. (1970) la phase humide qui a suivi la période Post Inchririenne dite Ogolienne (21 000-13 000 an Bp), coïncide avec la mise en place du réseau hydrographique du Sine Saloum. Le delta s'est

établi à la seconde phase d'entaille (13000-8000 an Bp) par la constitution des trois fleuves (Silif, Sine, Saloum).

Michel P nous apprend en 1973, que le rehaussement progressif du niveau de la mer au cours du Postglaciaire, s'est traduit par une importante sédimentation marine ou lagunaire dans les profondes entailles des cours inférieurs du Sénégal et de la Gambie et dans les régions littorales où la côte est généralement basse.

Hébrard (1972), Faure et Diop (1974), Elouard et Rosso (1977) confirment que, c'est durant le Post-Nouakchottien que les tannes se sont développés à l'intérieur des vasières témoignant de l'extension de la mer Nouakchottienne.

Selon Tessier et *al* (1975), Lappartient (1978), la sédimentation marine du Tertiaire se termine par le dépôt du Continental Terminal, formation fortement transformée par l'altération continentale ; et ce Continental Terminal borde le complexe estuarien du Saloum en formant un bas plateau.

Selon Diop E S en 1980, la transgression Nouakchottienne (Holocène moyen) dont le maximum se situe vers 5500 ans BP, constitue une phase essentielle dans l'évolution des formations littorales. Ainsi lagunes et golfes marins se sont formés avec une avancée de la mer dans les couloirs inter - dunaires et dans les vallées des rivières ; la régression qui a suivi cette transgression entraînant le dépôt de sel et de gypse dans les lagunes.

Barusseau J.P, Diop E.S et Saos J.L en 1985, ont mis en évidence la dynamique estuarienne en étudiant les conséquences géomorphologiques et sédimentologiques.

En somme, l'histoire du Quaternaire au Sénégal montre que la mise en place des formes principales, obéit aux fluctuations du niveau marin.

En 2007, Dièye B affirmait, que la zone côtière sénégalaise occupe la partie occidentale du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien d'âge méso-cénozoïque. Pour lui, l'histoire géologique de ce bassin est marquée par une succession de cycles de transgressions et régressions où les fluctuations eustatiques et les oscillations climatiques ont joué un rôle important durant le Quaternaire Récent. Mais, le Jurassique supérieur marque le début de l'histoire géologique de ce bassin qui s'est bien développé au Crétacé avec une transgression qui s'achève au Maestrichtien.

Aubreville (1949) a établi une classification des différents climats du Sénégal. Selon lui, du nord caractérisé par le climat désertique sahélo-saharien qui déborde légèrement au sud du fleuve Sénégal (300 à 550 mm /an), au Sud, par le climat guinéen en Basse Casamance à saisons tranchées mais à pluviométrie assez élevée (1200 à 1700 mm/an), nous passons par différents domaines climatiques. Le climat sahélo-soudanien couvrant tout l'Est du pays,

avec une pluviométrie qui varie entre 400 et 1200 mm/an, le climat sahélo-sénégalien qu'on retrouve au centre du pays avec 600 à 900 mm/an et enfin le climat sahélo-côtier qui est un climat exceptionnel, sous influence, durant une grande partie de l'année, de l'alizé atlantique avec des précipitations qui varient entre 400 à 500 mm/an.

Elouard (1959), Faure (1966), Faure et Elouard (1967), Michel (1973), Livingstone (1975), ont étudié les variations climatiques.

Ces chercheurs ont identifié de diverses manières, à travers entre autres, la nature et la dimension des matériaux transportés pour les cours d'eau, par l'importance des altérites, par l'étude des lacs fossiles, des variations du niveau des mers... Cependant, ces auteurs n'ont pas les mêmes points de vue quant à la subdivision du climat. Pour Michel, le climat humide de l'Ouest africain devrait s'apparenter au type soudanien, tandis que le climat sec devrait être proche du sahélien. Quant à Bernard, (1962), un displuvial correspond à un climat contrasté à pluies très abondantes et sécheresse prolongée (donc proche de soudanien ou de guinéen), tandis qu'un isopluvial est au contraire marqué par des pluies bien réparties sur toute l'année.

Pagney. P (1986) fait une analyse des paramètres climatiques des pays de l'Afrique de l'ouest. Il soutient que les pluies des zones équatoriales et leurs marges permettent de voir que les dispositions ouest-africaines, longtemps retenues comme exemple type de la pluviométrie des basses latitudes, ne rendent pas compte des phénomènes généraux.

Sané T (2003) fait d'abord un rapport entre le climat et l'environnement. Il soutient l'idée selon laquelle, le déficit climatique se répercute sur l'environnement par une perte progressive des ressources naturelles mais aussi une réduction drastique de la production agricole.

Il montre par ailleurs les conséquences du déficit pluviométrique sur les sols de la Haute Casamance. Il pense que la baisse de la pluviométrie associée à l'augmentation de la température entraîne la perte de la fertilité par le phénomène de la salinisation.

Pages J et Citeau J avaient comparé les précipitations à la salinité dans les estuaires du Sahel entre 1927 et 1987 ; tandis que Dacosta H (1993), a étudié la variabilité des précipitations sur le bassin versant du Saloum.

Le contexte de réchauffement climatique et les problématiques de la séquestration du carbone dans les environnements sédimentaires, et dans certains écosystèmes, ont poussé certains chercheurs à mettre l'accent sur la nécessité de pousser les investigations scientifiques.

C'est le cas de Cadamuro (1999) ; de Marchand (2003) ; de Marchand et *al*, (2008) et de Kristensen et *al*. (2008).

Dans le cadre hydrogéologique, Minot A (1934) avait déjà étudié l'estuaire du Saloum en 1934 ; et Plaud (M) avait fait de même en 1967 pour les lentilles d'eau douce.

De son côté, L'homme F, dès 1974, a analysé ses observations hydrologiques dans le Sine, observations qu'il a renouvelées en 1977.

Dès 1965, Michel P parlait déjà du gauchissement du fleuve Saloum comme la plupart des fleuves du Sénégal qui a pu commencer dès le Quaternaire Ancien cependant cela s'est produit après la constitution du niveau de cuirasse inférieur, maintenant soulevé dans les falaises de Fajara.

Toutefois, le réseau hydrographique du Saloum semble définitivement constitué au cours de la phase humide du Tchadien (11 000-6800 ans BP) suite à ce que Michel P, a appelé en 1973, la deuxième phase d'entaille ou phase de creusement des vallées et datée d'à partir de 14 000 ans BP.

En 1974, Marius, Diop E S et Barusseau J P, qualifiaient l'estuaire du Saloum, d'estuaire « inverse » et parlaient exclusivement d'une « ria » dont le chenal est exclusivement parcouru par les eaux marines.

L'étude hydrogéologique entre le Sine et le Saloum a été faite par Diluga en 1975, tandis que Diop ES, Sall M.M ; Barusseau J.P, et Ndiaye P, ont comparé l'hydrodynamisme des environnements estuariens de la Casamance et du Saloum ; puis ils ont étudié la géomorphologie des îles d'après les données simulées de SPOT de septembre 1981.

De même en 1983, Gaye C B et Sarr R avaient analysé les données hydrologiques des îles, en s'appuyant sur les eaux souterraines de Dionewar et de Niodior. Enfin en 1985, les mêmes chercheurs ont posé les problèmes hydrogéologiques dans les zones d'estuaires à mangrove en mettant l'accent sur la lentille d'eau de Samba Dia.

Par ailleurs, de nombreuses études ont été menées au Sénégal en général et en Casamance en particulier. Ainsi Rochette (1974), Rodier (1975), OMVS, Mietton M et Carfantan (1998) ont orienté leur étude sur les eaux de surface.

Selon ces chercheurs, le réseau hydrographique national résulte d'une part, de la configuration géologique et géomorphologique et d'autre part, du régime ou l'apport pluviométrique.

En 1993, Dacosta estimait que le bassin du Saloum couvre une superficie de 29 720 km², dont 2800 km² soit les 9 % sont en permanente submersion du fait de la marée.

En 1993, selon Bertrand F, le Sine et le Saloum constituent aujourd'hui des vallées mortes alors que la partie continentale de leurs bassins, connaissait des écoulements avant les sécheresses des années 1970. Ainsi la translation du pic de salinité vers l'amont des rivières, entraîne une inversion généralisée des profils longitudinaux de salinité et une extension des milieux sursalés.

Selon le CSE (2005), «la recharge annuelle est évaluée entre 3 et 4 milliards de m³».

Avec le déficit pluviométrique, la surexploitation, ces ressources rencontrent de nombreux problèmes et le potentiel d'exploitation de ces eaux est limité par des problèmes de pollution diverse (avancée du biseau salé, les fluorures, le fer et les nitrates)».

En plus, le CSE (2005), déclare que l'effet conjugué de l'élévation du niveau de la mer et l'évapotranspiration expose les eaux douces à la salinisation rendant une partie des eaux superficielles et souterraines impropres à de nombreux usages ».

D'après les études de Diop et *al*, de Dièye B en 2007, l'estuaire du Saloum ne fonctionne pas comme un estuaire de type normal défini comme un cours d'eau en communication avec la mer et dans lequel l'eau de mer se mélange avec les eaux douces d'origine continentale. Il nous apprend en même temps que l'estuaire ne reçoit plus d'alimentation en eau douce pendant une grande partie de l'année (8 à 9 mois).

En pédologie, Boulaine J (1975) a écrit sur l'histoire de l'évolution du concept sol, sur les facteurs de différenciation des sols et a établi une classification zonale des sols du globe, des grands domaines arctiques, aux domaines tempérés et désertiques,...A côté de cette répartition latitudinale, il existe des sols qui sont présents dans presque toutes les latitudes.

Ainsi, les régions sahéliennes se caractérisent par la présence de sols subarides, les régions soudaniennes par l'existence de sols ferrugineux tropicaux et celles guinéennes par celle de sols ferralitiques.

En plus de la zonation des sols relative au climat, à la végétation, Maignien (1959) soutient que la nature du matériau originel, le drainage et les influences anciennes ou récentes diverses, jouent sur leur individualisation.

Au point de vue sol et aménagement, les écrits sont nombreux et variés.

Marius C, de 1974 à 1992, tantôt seul, tantôt assisté de Leprun J C et de Perraud E, a analysé la dynamique des sols de l'estuaire du Saloum et a caractérisé les amas coquilliers. En 1978, il a étudié l'hydrogéologie, la pédologie dans les carottages profonds des mangroves du Sénégal et de la Gambie.

En 1979, Kalck Y et *al*, ont montré les aspects minéralogiques et géochimiques des sédiments et des sols de mangrove.

Sarr R estime en 1982, que les sols du delta du Saloum sont sursalés et gorgés d'eau résultant d'une sédimentation de matières minérales et organiques entraînées par les eaux de ruissellement qui flocculent au contact de l'eau de mer. Et ces conditions sont favorables à la formation et à l'accumulation des sulfates notamment de la pyrite, dont l'excès sur les composés neutralisants (bases, alcalinité...) est la cause essentielle de l'acidité des sols développés sur ces sédiments.

Vieillefon J (1977) a étudié les sols des mangroves et des tannes en Basse Casamance.

Il y explique que le sol est plus acide si la végétation antérieure était une mangrove à *Rhizophora* que dans le cas d'une mangrove à *Avicennia*.

Le pH après séchage de l'échantillon, augmente de la mangrove aux tannes alors que le pH mesuré in situ décroît de la mangrove aux tannes. Il s'abaisse aussi de la profondeur vers la surface.

Il a aussi établi une relation entre les superficies et les domaines climatiques en montrant que dans les régions à climat tropical sec très contrasté, les tannes occupent de grandes superficies, alors que dans les régions tropicales humides, les tannes vifs ne forment qu'une mince auréole autour des prairies à halophytes.

Enfin, Sadio S en 1991 a proposé un texte sur la pédogénèse et les potentialités forestières des sols sulfatés acides et salés des tannes du Sine.

Ces sols sont constitués par la vasière noire, mouvante et soumise au phénomène des marées, le tanne nu présentant des efflorescences salines et le tanne herbu relativement élevé par rapport à ce dernier et dessalé en surface. La salinité augmente de la vasière aux tannes varie en fonction des saisons. Chacune de ces unités, présente des conditions pédologiques particulières sur lesquelles s'adapte une végétation halophile.

En 1994, Aliou Sarr, dans son mémoire de DEA, « Evaluation des potentialités agro-forestières des tannes salés du bassin du Sine Saloum », a posé la problématique de la salinisation des sols dans les secteurs insulaires et bordiers, en mettant l'accent sur l'origine du phénomène, la localisation des sols, leur nature et leur utilisation par les populations.

Selon Marius, l'étude pédologique des tannes a réellement débuté au Sénégal en 1977 avec les travaux de Vieillefon J dans la mesure où les études antérieures n'avaient pas signalé le rôle du soufre dans la pédogénèse et notamment l'acidité des sols. C'est ainsi qu'il étudie entre 1974-1975, l'évolution de sols de l'estuaire dans deux chronoséquences.

Sadio (1985) et Daffé (1987), ont analysé le fonctionnement des sols du domaine des tannes tout en supposant que leurs caractéristiques sont fonction de la morphologie et des propriétés chimiques. Sadio (1985) dans « pédogénèse et potentialité forestière », caractérise les sols

selon leur composition physico chimique et les applique à des sols sulfatés acides, ne pouvant supporter que des espèces halophytes.

En 1997, la FAO, dans l'ouvrage intitulé "aménagement durable des forêts", prône une politique d'aménagement des forêts, comme solution pour sauver l'humanité. En effet, constatant la pression exercée par l'homme sur les ressources, la FAO propose leur exploitation rationnelle des ressources sans compromettre la capacité de régénération des espèces et des plantes.

La thèse de Biologie animale de Sow Fambaye Ngom (2005) a étudié les fonctions de la mangrove dans la structuration et la biologie des peuplements de poissons dans l'estuaire du Saloum. Elle a analysé les caractéristiques, les types et la localisation dans le monde, en Afrique, en Afrique de l'ouest, au Sénégal et dans le Sine Saloum de l'écosystème mangrove. Si de nombreux travaux de l'entre-deux guerres mondiales, soulignent l'importance écologique des marais et des marécages des régions froides et tempérées, il faut attendre les années 1960 et 1970 pour que les mangroves soient considérées comme des écosystèmes riches et fragiles selon Cormier-Salem, (1994).

D'autres travaux ont estimé ou calculé les superficies occupées par les mangroves des Rivières du Sud. Citons dans ce cadre, Diop E S (1990), pour qui, « les mangroves des Rivières du Sud au sens strict, (la formation arborée actuelle), couvrent 1 000 000 d'hectares ».

L'étude de la mangrove a presque été faite sur toutes ses facettes. Ainsi, Blasco F en 1981 et 1983, a parlé de fonctionnement, d'utilité et d'évolution des mangroves du Sénégal et de la Gambie. Les rapports de l'E.P.E.E.C de 1982 à 1984, ont étudié les mangroves et les estuaires du Sénégal.

Blasco F en 1983 mettait l'accent sur le statut écologique et l'évolution des mangroves du Sénégal et de la Gambie. Puis en collaboration avec Boivin P et Loyer J P, ils ont proposé leur mise en valeur. Tandis que Doyen A, à deux reprises, en 1983 et 1988, a fait l'inventaire de la mangrove à usages multiples en basse Casamance et au Saloum.

De concert avec Agbogba C, Diallo N, Leclerc en 1985, Doyen A, a parlé de mangrove à usages multiples. La même année Marius C soutenait sa Thèse d'Etat sur le thème : « Mangroves du Sénégal et de la Gambie : Ecologie pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement ».

Enfin, Diop E S, dans sa thèse en 1986, a étudié la mangrove de la Côte Ouest Africaine.

Ainsi, la vasière est caractérisée par une végétation de mangrove (*Rhizophora* et *Avicennia*) et le tanne herbu par *Sesuvium portulacastrum*, *Tamarix senegalensis*, *Combretum glutinosum*,...

La végétation est aussi étudiée dans les pays séréres par Pélissier P (1966) en parlant d'écosystèmes culturels marqués par une sélection variétale dont l'espèce la plus prépondérante est *Acacia albida* ou *Acacia Faidherbia*, du fait de ses fonctions.

Thiam M D (1986), avance l'idée selon laquelle la mise en place des formations végétales est étroitement dépendante des facteurs climatiques (précipitations, évaporation), de la surface topographique et des facteurs hydrologiques, en un mot de tout ce qui influence la dynamique saline.

Dans le cadre de la biodiversité, Diouf P.S en 1992 a parlé de la Bioécologie et de la structure des peuplements de poissons de l'estuaire du Sine Saloum. En 1996, il analysait les peuplements de poissons de l'estuaire hyperhalin du Sine Saloum.

Chiasera S 1992 a décrit la biodiversité et l'isolement de la moyenne et grande faune des îles du Saloum.

En 2007, d'après Dièye, la végétation de la mangrove couvre les chenaux de l'estuaire et reste soumise au rythme des marées. Elle est distribuée suivant une certaine zonation en fonction des gradients d'hydrophilie et de salinité.

La zone soudano-sahélienne est frappée par une sécheresse qui se caractérise par sa durée, son intensité et son extension vers le sud. Cette péjoration climatique se traduit par la dégradation du milieu naturel. Avec la destruction de la végétation, les sols sont soumis à l'érosion et au ruissellement. L'acidification et la salinisation sont accentuées surtout en Casamance et dans l'estuaire du Saloum. La déflation éolienne s'intensifie sur le substratum dépourvu de couverture végétale.

Jung (1970) a étudié la microbiologie des sols du Bassin Arachidier. Il a effectué des analyses de base sur l'évolution saisonnière des populations microbiennes des sols de type Dior dans la région de Bambey. Il a conclu que durant la saison sèche, l'activité biologique du sol est gravement limitée par les contraintes du faible niveau d'humidité.

En 1985, Dancette et Sarr ont publié une étude intitulée : Dégradation et régénération des sols dans les régions Centre-Nord du Sénégal, dans laquelle, ils examinent les causes et les effets de la dégradation. Ils notent, en particulier, le rôle de la matière organique et de l'agroforesterie dans toute entreprise de régénération de sols.

Du point de vue de la salinisation, le bilan pèse lourd. En effet, beaucoup de chercheurs ont réalisé d'importantes études dans le domaine de la salinisation des terres.

Vieillefon J, (1977), à travers ses études sur les sols des mangroves et tannes de basse Casamance», a comparé les tannes de la Casamance à ceux du Sine-Saloum.

Il insiste même sur le fait que, dans le Sine-Saloum, la déflation éolienne y est plus intense et de nombreuses lunettes, plus ou moins aplanies aujourd'hui, semblent s'être édifiées et forment ce qui a été nommé occasionnellement «tanne herbu ».

Dancette C et Loyer JY estiment que 5 % du territoire national environ est affecté à des degrés divers par le sel.

L'extension de ces terrains salés compromet la production agricole en laissant en place des terres stériles la superficie de tannes vifs est passée de 13 % en 1960 à 60 % en 1984.

Les conséquences néfastes s'observent sur la baisse de la productivité des sols, un recul des cultures traditionnelles au-delà de leur zone habituelle et un délaissement des terrasses basses argileuses transformées en véritables saumures.

D'après Diop E S (1987), la salinité et l'alcalinité sont très sensibles dans « certaines unités géomorphologiques ».

En effet, La progression des terres salées est, en grande partie, causée par la baisse de la pluviométrie. Sur 3,8 millions d'hectares de terres arables, 1,23 million sont affectés par le sel au Sénégal.

Ce phénomène de salinisation est d'autant plus accentué que la période des années de dégradation pluviométrique se combine à une remontée du niveau marin.

Des travaux sont réalisés sur les causes de la salinisation tels que ceux de Robert (1996), Fall (2002)... Ils distinguent plusieurs types de salinisation :

- la première est la salinisation dite primaire qui s'est réalisée par le jeu de la transgression et de la régression marine. Cette dernière est le principal facteur cité par Marzouk (1986), et Sarr en 1994 dans son mémoire de Maîtrise intitulé : Évaluation des potentialités agro forestières des terres salées du bassin du Sine – Saloum ;
- la seconde est dite récente et est liée aux mouvements complexes de la marée, suit les débouchés des fleuves, des rivières... C'est la fameuse langue salée différente du biseau salé qui constitue un front de contact de nappe d'eau salée et douce, (Diop, 1998.) ;
- à ces deux facteurs, s'ajoutent d'autres tels que la remontée capillaire, le ruissellement qui arrache les sels minéraux et la reprise des fins cristaux de sels après efflorescence saline.

Cette forme de salinisation est liée à l'irrigation sans un bon niveau de drainage ou de lessivage. Barbiero parle de salinisation solide, c'est-à-dire que c'est le vent qui est l'agent principal. C'est un sel d'origine marine d'abord cristallisé en fines particules (limons, sables) par les effets induits de la température, repris par le vent et déposé plus loin.

Ce processus est facilité par les errements des troupeaux (piétinement) dans le tanne ou lit asséché des zones salées qui favorisent le transport.

Des écrits concernant le bois de mangrove et la forêt ont été détaillés par :

- Niang I A en 1985 dans l'étude des reboisements sur les terres salées du Sine Saloum ;
- Diop E S en 1993 a étudié les mangroves du Sénégal et de la Gambie dans la conservation et de l'utilisation des forêts de mangroves de l'Amérique Latine et de l'Afrique ;
- et Sarr R la même année a évalué les potentialités agro-forestières des terres salées du bassin du Sine ;
- Enfin, Baba M. Ndiougue, se fait l'auteur de la filière bois de mangrove" dans la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum (R.B.D.S) en 2002.

En plus de ces spécialités, beaucoup d'articles de publication à caractère scientifique ont porté sur le Saloum.

Nous constatons que tous ces chercheurs ont traité d'un aspect du problème des îles en fonction de leurs spécialités, sans une démarche synthétique.

En effet, la géographie est une science dynamique comme le milieu qu'elle décrit, une démarche pluridisciplinaire aurait montré toutes les facettes de l'estuaire et de ses régions de bordures.

Pour nous donc, il s'agit de partir de cette base, pour étudier les modifications récentes liées aux changements en cours et leurs impacts à tous les niveaux naturels aussi bien dans l'estuaire que dans ses bordures, ce qui nécessite le concours de plusieurs disciplines, de plusieurs spécialistes, de plusieurs procédés et techniques de recherche et une approche globale. C'est ainsi, que nous avons choisi une démarche qui met en relation deux grandeurs : les changements globaux et le comportement d'ensemble de l'écosystème estuarien et ses bordures. L'objectif est de voir si ces grandeurs évoluent dans le même sens ou en sens inverses. Malgré tout, les différents ouvrages consultés nous ont permis de présenter l'espace étudié.

Présentation générale du milieu

Le domaine insulaire du Sine-Saloum, complexe d'îles et d'estuaires, est situé à 150 km au sud de Dakar, à la limite sud de Joal. Il constitue la marge septentrionale de la mangrove des Rivières du Sud (Cormier-Salem, 1999) qui, du Sénégal se prolonge de façon continue sur le littoral atlantique de l'Afrique, jusqu'au Libéria (Moreau, 1991).

Cette région est assimilée à l'estuaire du Saloum qui se prolonge à l'intérieur du Sénégal jusqu'au Ferlo. Il s'agit d'une ria, communément appelée ici « estuaire inverse par Marius (1985) mais, pour la commodité de l'exposé utilisons le terme « estuaire ».

Selon les estimations de la JICA (2002), « la superficie des plans d'eau est la plus étendue, soit 84806 ha qui couvrent 37 % de l'espace de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum (RBDS). Les mangroves basses et hautes confondues se développent sur 58300 ha environ, soit presque 25 % de la réserve. Cela explique que plus de 60 % de l'espace de la RBDS dépendent des eaux. D'autre part, des tannes (anciennes vasières exondées) occupent 14500 ha, soit 6 % de la RBDS ».

Globalement, l'estuaire du Saloum et ses bordures s'étendent sur plus de 600 000 ha.

Le complexe estuarien du Saloum est constitué des rivières Saloum, Diomboss et Bandiala, interconnectées par un réseau de chenaux de marée, les bolongs. Cet estuaire isole deux grands ensembles d'îles : les îles Gandoul au nord, Bétenty et Fathala au sud.

Ces bolongs sont appelés aussi chenaux de marée ou petits marigots » selon le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature – Centre de Suivi Ecologique (MEPN-CSE) (2005).

L'estuaire draine un bassin versant de 29720 km² dont le relief est en général plat et la pente très faible. « Il comporte 200 îles et îlots, 218 amas coquilliers dont 28 sites funéraires en forme de tumulus Thilmans. G., (1986) ». Les cartes 1, 2 et 3 nous présentent l'espace étudié.

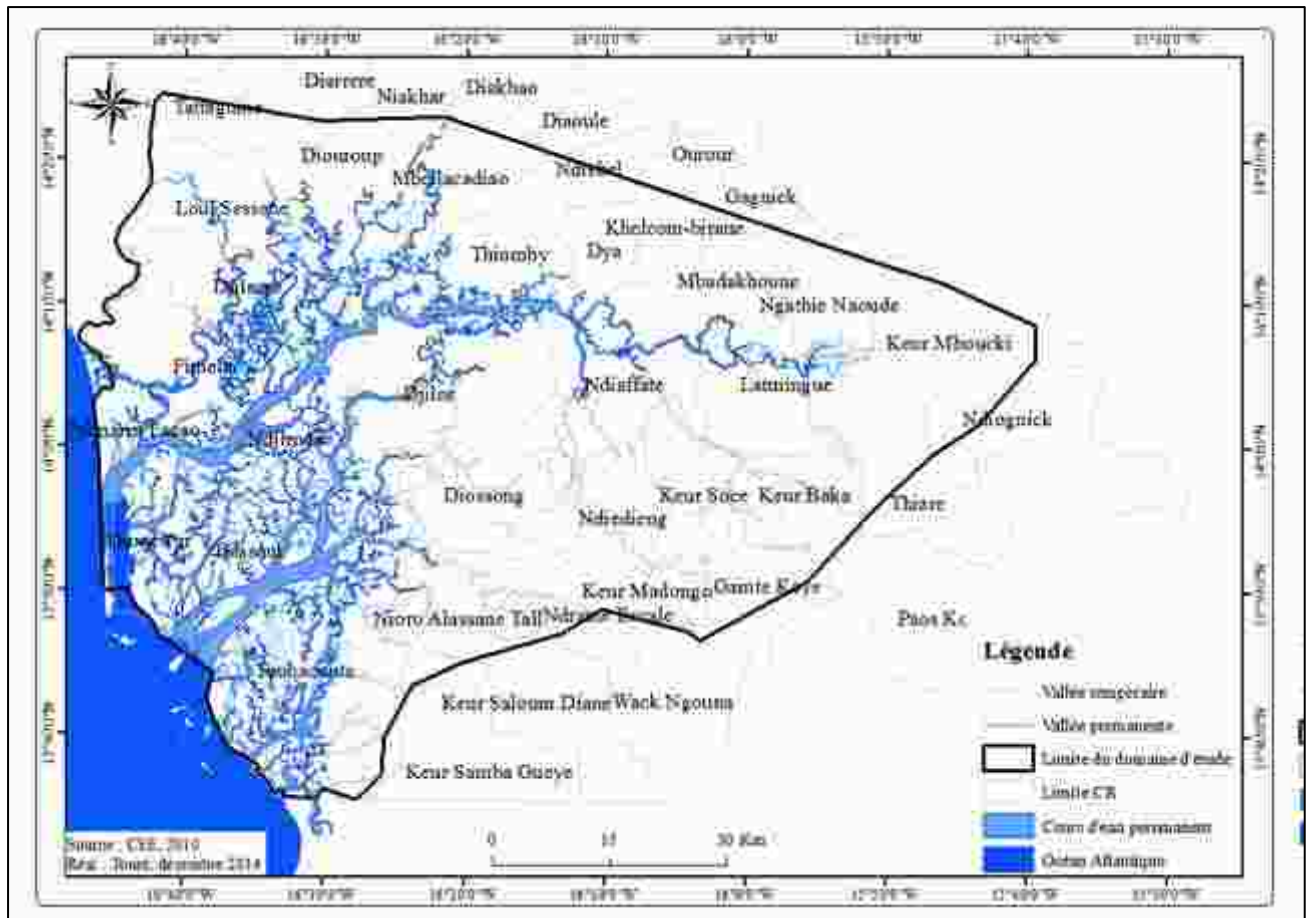
Source: CSE, 2010
Réal. : Septembre 2018

- « - une zone très réduite à *Rhizophora racemosa* ;
- une zone très large à *Rhizophora mangle* accompagnée d'*Avicennia africana* ;
- une zone nue, le tanne vif ;
- une zone herbacée composée essentiellement de graminées ;
- une zone de transition.

L'espace étudié englobe quelques départements, arrondissements, communes des régions de Thiès, Fatick, Kaolack, Kaffrine et Louga. Il comporte une partie continentale et une zone estuarienne appelée Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum.

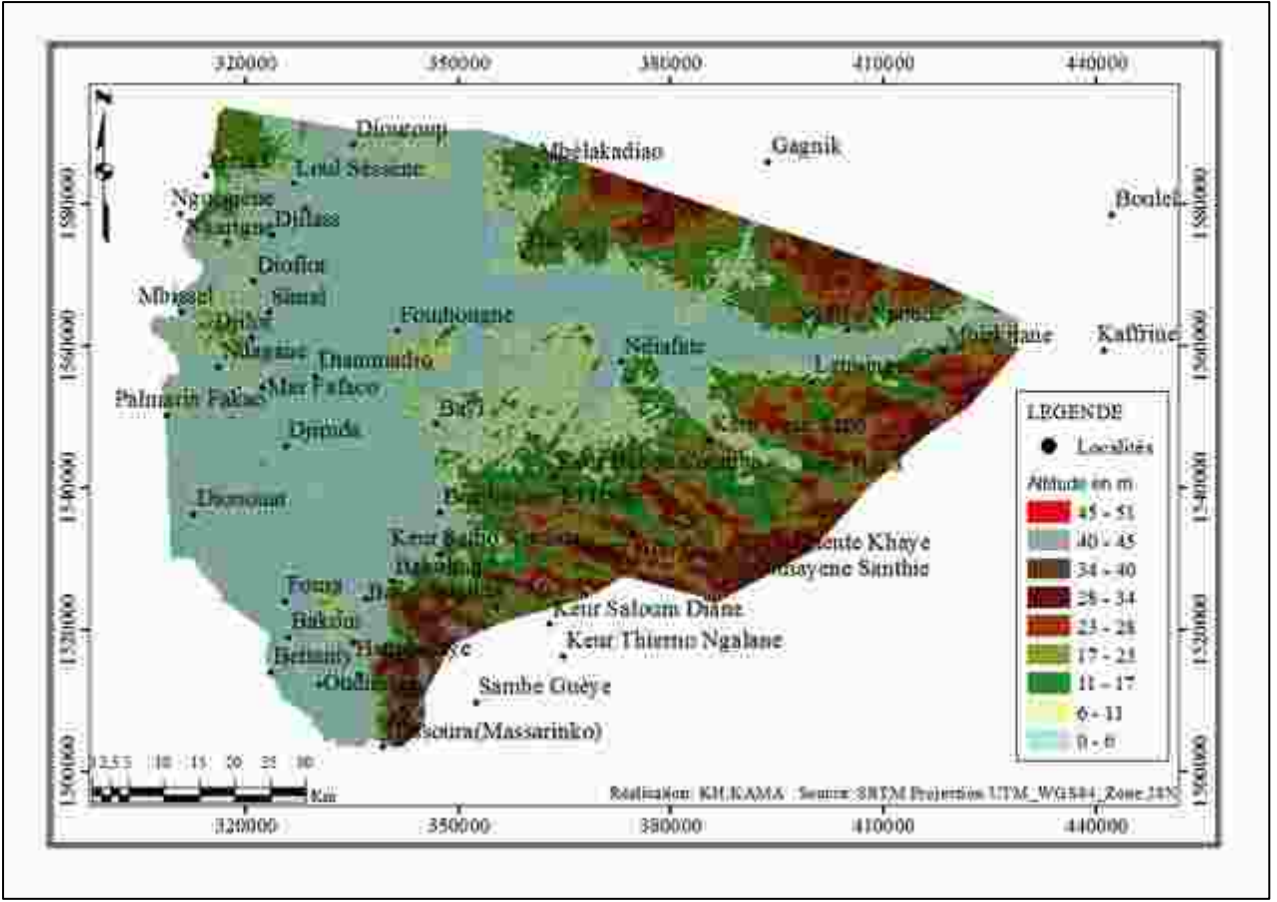
[illegible]

Carte 3: localisation des communes



Selon le Modèle Numérique de Terrain (MNT) (carte 4), l'espace étudié est limité au Nord par les communes de Diouroup, Mbellacadio et de Gagnik, au Nord-ouest par Sessène Djiguème (14°25N/16°45W) et Tattaguine 14°27N/16°38W, Nguéniane et Ngarine, à l'ouest par l'océan atlantique d'où il est séparé par la flèche de Sangomar, au sud par les Communes de Keur Samba Gueye et de Keur Saloum Diané, au Sud-ouest par la frontière Gambienne, et à l'Est par le marigot de Diamal au sud de Birkelane, mais la vallée fossile continue jusqu'aux coordonnées 14°24N/13°56W, 50 km à l'est de Bankou Dinka 14°21N/14°04W.

Carte 4: Modèle Numérique de Terrain de l'espace étudié



Selon la Direction de l'Environnement et des Établissements Classés, « dès 1976, ce furent 76.000 ha des ensembles continental, amphibie et maritime du delta qui ont été érigés en parc national: le Parc National du Delta du Saloum (PNDS). Il s'agit du deuxième parc du Sénégal par son étendue soit 334000 ha, localisé entre 13°35 et 14°15 de latitude Nord et entre 16°03 et 16°50 de longitude ouest ».

D'après des travaux réalisés par l'UCAD/UNESCO (1998), « dix motifs justifient le classement du delta du Saloum comme premier site de biodiversité du Sénégal :

1. 1er site mondial de reproduction de sternes royales (21 000 nids) ;
2. 3ème estuaire au monde en matière de biodiversité d'espèces halieutiques avec 112 espèces ichtyo fauniques et frayères et refuge de poissons ;
3. Sites d'espèces menacées comme les tortues et les lamantins ;
4. Zone humide d'importance internationale dans 5 vasières pour 21 espèces d'oiseaux ;
5. 3ème site en Afrique de l'Ouest pour son importance en oiseaux d'eau (120 000 individus) ;
6. Un des écosystèmes de mangrove les plus dynamiques de la côte est-atlantique, peuplement le plus septentrional dans un état luxuriant ;

7. Peuplements les plus septentrionaux de plusieurs espèces d'animaux et de végétaux
8. Parcs arborés les plus importants du pays
9. Mémoire d'une partie de l'histoire du Sénégal et site de rencontre et de brassage de cultures (Niominka et Socé) ;
10. Sites de brassages d'écosystèmes humides et secs des espèces et peuplements guinéen et sahélien avec leur diversité de faune et de flore ».

La R. B. D. S, partie amphibie de ce vaste domaine, est comprise entre 13°35' et 14°04' de latitude nord, 16°20' et 13°56 de longitude ouest soit au total 200 îles et îlots.

Elle comporte trois principaux milieux écologiques :

- un domaine continental jusqu'à la mangrove et aux tannes ;
- un domaine amphibie composé de trois grands groupes d'îles;
- et un domaine maritime renfermant une série d'îlots et de bancs de sable.

Ce domaine maritime s'étend de Djifère à Djinack, jusqu'à deux kilomètres à l'intérieur de l'océan atlantique. Il englobe une série d'îlots, de bancs de sable et d'importants herbiers.

Les régions bordières enserment un ensemble de trois grands archipels « le Gandoul au nord, les îles Bétenti et le Fathala au sud ; séparés par trois grandes rias : le Saloum 110 km, le Diomboss 30 km et le Bandiala 18 km » (Diop E S 1980).

Ces estuaires sont interconnectés de multiples chenaux appelés bolongs dont les principaux concernent le marigot de Ndangane, les bolongs de Gokehor, de Likit, de Saka, de Nganassaw, de Diogane, de Labor, de Sangako, de Guilor, de Irragago, de Sokone, de Bapiada, de Bakous, d'Oudiérin, de Missirah, de Bah, enfin les bolongs de Massirinko et Niji qui touchent le territoire Gambien.

Mais l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature a procédé en 2004 à un zonage donnant les divisions suivantes : (cf. fig. 3)

- « -les îles Djinack y compris Léba ;
- les îlots de l'océan y compris Sangomar ;
- les îles Bétenti y compris le Bandiala ;
- l'embouchure du Diomboss y compris Poutaké et Gouk que nous complétons par Dioffandor
- les îles du Gandoul y compris le Saloum ;
- les Passes de Fambine et de Ndaar ;
- les îles Mar; auxquelles s'ajoutent les tannes de Roh, de Simal et de Fimela ;
- les vasières de Fimela Palmarin et Joal y compris les zones de terroir ;

- la zone de tanne de Fayil-Faoye; à laquelle nous ajoutons les tannes de Féfir, Fayako, Fatick et Tanno mak au Sud-est de Ndiémou sur le Sine.

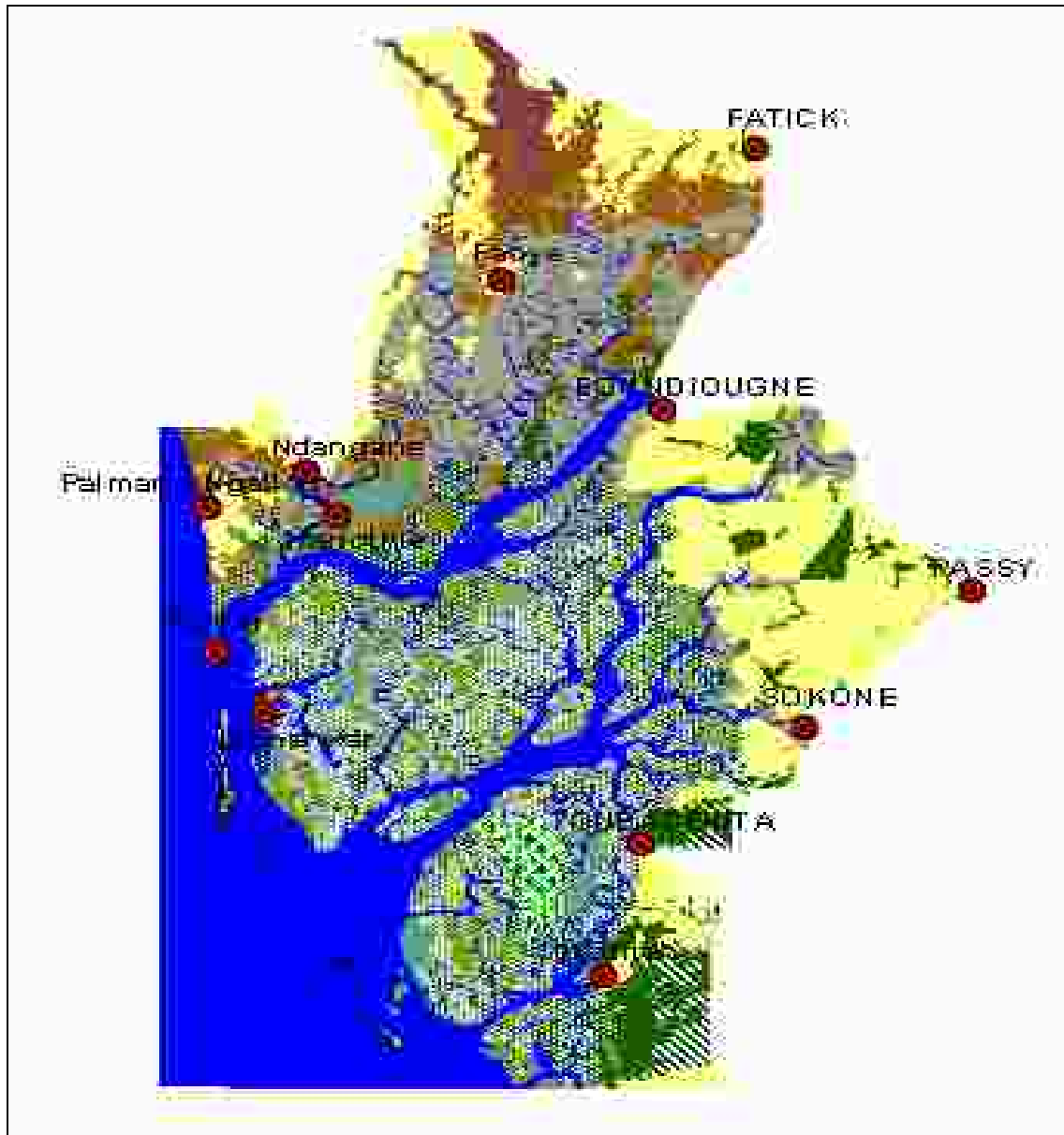


Figure 3: localisation de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum

UICN (avril 2004)

*Du point de vue relief, le domaine est plat et subsidant, avec quelques cordons et amas coquilliers dépassant rarement les 50 m souvent entaillés de microfalaises.

Les plus hautes altitudes se localisent dans la partie Sud-est de Massirinko, à Birkelane, dans au Nord-est de Mbellacadio et à Ngathie Naoudé (conf MNT)

* Du point de vue morpho-pédologique, les îles sont formées généralement de vase dont la teneur en sable varie avec la profondeur, mais aussi d'un lieu à l'autre. Leur sol présente une diversité de composition et de texture d'un taxon morphologique à l'autre.

Sur les cordons sableux et sur bas plateau du Continental Terminal, se rencontrent des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou sols Dior.

Diaw A T (1997) découvre d'autres faciès sur certaines unités :

«- sur les tannes vifs, des sols halomorphes au faciès sablo- argileux marqué par une importante salinité avec des modelés particuliers : "moquette" avec efflorescence saline, lunettes et pseudo lunettes. Ces sols sont surtout alcalins ; ce sont des solonetz ». Ils sont surtout étendus sur les tannes des îles de Diamniadio et de Guissanor ;

«- sur les tannes herbus, se retrouvent les sols hydromorphes minéraux salés, mais dessalés dans la partie supérieure du profil... » ;

« dans les vasières à mangrove, les sols salés ou sursalés avec prédominance de NaCl des sols riches en sulfure de fer principalement sous forme de pyrite grâce à la présence de matière organique biologiquement décomposable » ;

« - enfin sur les amas coquilliers, se développent les sols du groupe des rendzines. Avec la cendre, ils deviennent acides ».

*Du point de vue climatique, la position géographique place l'estuaire et sa zone d'influence dans le bioclimat soudano- sahélien caractérisé par la grande variation spatio-temporelle des précipitations. Les saisons sont nettement distinctes :

- une saison sèche avec des alizés continentaux et maritimes de novembre à juin ;
- une saison chaude et humide de juillet à octobre avec prédominance de la mousson.

La zone se trouve entre les isohyètes 1000 mm au sud à la latitude de Djinack Bara, et 300 mm à l'Ouest de Nibane 14°56'N/15°39'W, au nord de Diourbel. Mais, depuis les années 1960, la détérioration des conditions climatiques affectant toute la région soudano-sahélienne, a fait glisser les isohyètes vers le sud.

*Sur le plan biogéographique, les travaux de beaucoup de spécialistes comme Ndiaye P et, Diaw A-T., UICN (1999), ainsi que ceux des étudiants comme B-M. Ndongue (2001), confirmés par nos observations sur le terrain, ont permis de présenter la région comme « une zone de transition entre le domaine soudano-guinéen au sud et la zone soudano-sahélienne au nord » et comportant 334000 ha du delta qui sont classés depuis 1981 comme Réserve Mondiale de la Biosphère, un parc créé en 1976 ; 76000 ha classés depuis 1984 Zone Humide d'Importance Internationale (site Ramsar) ; plus de 250 espèces d'oiseaux, 6000 ha de forêts classées dans le Fathala.

L'UICN (1999) distingue les paysages suivants :

« - sur les formations du CT, sur les cordons et amas coquilliers , une végétation à dominante arborée : *Cocos nucifera*, *Borassus flabellifer*, *Elaeis guineensis*, *Adansonia digitata*, *Detarium senegalensis*, *Parinari macrophylla*, *Acacias seyal*, *Acacia ataxacantha*, *Sclerocaya birrea*, *Tamarindus indica*, *Daniela oliveri*, *Cordyla Pinnata*, *Pterocarpus erinaceus*, *Bombax costatum*, *Lannea acida*, *Khaya senegalensis*, *Parkia Biglobosa*, *Terminalia macroptera*, *Terminalia avicennioïdes*, *Combretum glutinosum*, *Piliostiga reticulatum*, *Acacia nilotica*, *Borassus aethiopium*, *Zizyphus mauritania*... »

Les photos 1, 2 et 3 donnent des exemples dans les îles de Bétenty et de Gouk.

Photo 1: les îles de Bétenty



Cliché Faye G (2008)

« - sur les tannes herbus ou prairies à halophytes, se trouvent *Sesuvium portulacastrum*, *Philoxerus vermicularis*, *Sprobolus robustis*, *Shizachirium compressa*... »

« Dans les vasières à mangrove, les compositions floristiques diffèrent selon les stations :

Sur la vase fine soumise aux marées, poussent les Rhizophoracées avec *Racemosa*, *harrissonii* et *mangle*.

Sur les sols sableux des vasières irrégulièrement submergées par la marée, se dressent les Verbénacées avec *Avicennia*, les Combrétacées avec *Laguncularia Racemosa* et *Conocarpus erectus* ».

Photo 2: *Adansonia digitata* sur un cordon au droit de l'île de Gouk (2008)



Cliché Faye G (2008)

Photo 3: Mangrove saine à Rhizophoracées à Thialane (2008)



Cliché Faye G (2008)

A ces paysages, s'ajoutent d'autres mieux conservés comme les forêts classées de Fathala, de Djilor, de Keur Sambel, de Sangako, de Poutaké, de Sipo, de Léba, de Vélor, de Kousmar, de Daga Sangaye, de Koutal, de Kouyong, de Mahécor et des réserves de la biosphère comme celle de Samba Dia, des aires protégées dans toute la commune de Ngathie Naoudé.

Ainsi, les travaux de Lykke M. A, (1994) et de Diop E. S,(1985) estiment la superficie de ces forêts classées à « 28.250 ha correspondant aux forêts classées de Fathala (11800 ha), de Djilor (99 ha), de Sangako (214 ha), de Patako (5580 ha), de Sokone (280 ha), de Vélor (6800 ha), auxquelles, ils ont ajouté la Rôneraie de Samba Dia (750 ha) érigée en Réserve de la Biosphère ».

D'autres forêts classées se rencontrent dans le domaine continental comme Kassas, Birkelane, Patako Sud et Est, auxquelles s'ajoutent de multitudes d'aires protégées. Mais beaucoup de forêts n'existent que de nom, car complètement dégradées et deviennent des savanes classées.

* Du point de vue de la faune, se rencontrent sur les substrats vaseux ou sableux *Anadaras senilis* , *Cardium ringens*, *Pitaria florida*, *Macoma cumana*.

Sur les amas coquilliers se rencontrent beaucoup de fossiles, « ces amas sont constitués en grande majorité par des arches et des huîtres et plus rarement par *Cerastoderma edule*, *Tagelus angulatus*, *Tellina strigosa*, chez les lamellibranches, *Tympanotonus iuseatus*, *Murex hoplites*, *Murex cornus*, *Semifusus morio*, *Cymbium sp*, *Conus papilionaceus* chez les gastéropodes (Thilmans et Descamps, 1982) ».

Dans les eaux salées et sursalées vivaient *Tympanotonus radula* et *Tympanotonus fuscatus* et se remarquent aussi d'autres biocénoses, les mollusques gastéropodes, céphalopodes, scaphopodes, auxquelles s'ajoutent « 114 espèces de poissons appartenant à 52 familles » (UICN 2004), sans oublier les arches, les huîtres et les Cymbium.

Dans la partie continentale, se retrouve la faune de la savane africaine, mais très rare dans certains endroits dont les conditions de biotopes ne sont plus favorables.

L'importance de la biodiversité est confirmée par les résultats suivants des études du projet de formulation de site Ramsar :

- « - 234 000 hectares dont 60 000 ha de mangroves,
- 5 forêts classées, un parc,
- 60 000 nids de reproduction d'oiseaux dont 20 000 pour la sterne royale (*Sterna maxima*) = 1er site mondial;
- 95 espèces d'oiseaux pour un effectif autour de 100 000 individus,
- 7 sites gardent plus de 1% de la population mondiale de 21 espèces d'oiseaux d'eaux,
- Site de reproduction de la tortue verte *Chelonia midas*; lamantins, *Dauphin souza*
- 114 espèces de poissons, 6ème estuaire dans le monde pour la diversité ichtyo faunique,
- 186 espèces de végétation ligneuse,
- 35 espèces de grande et moyenne faune ».

Enfin, la flore et la végétation ligneuse de la R.B.D.S ont été étudiées, entre autres, par Ba et Sambou (1999), Lykke (1996) et plus spécifiquement, en ce qui concerne la mangrove, par Marius C (1985). Il ressort de leurs idées que « les zones les plus riches en espèces ligneuses et qui concentrent plus de 20 % des espèces représentées sont localisées au niveau de la forêt de Fathala avec 125 espèces (66 %), Sangako avec 81 espèces (43 %), Keur Sambel avec 58 espèces (31 %), Falia avec 54 espèces (29 %) et Sipo avec 51 espèces (27 %).

La mangrove qui couvre une superficie de 170 km² avec six espèces caractéristiques (*Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrissonii*, *Avicennia africana*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*) constitue l'une des formations, la plus septentrionale de l'Afrique de l'Ouest ».

La photo 4 illustre des racines de mangrove avec des huîtres.

Photo 4: Huîtres sur les racines de palétuviers à Falia (2008)



Faye G (2008)

*Au point de vue administratif

Les populations des îles et celles de leurs bordures sont concentrées dans 6 départements dont Mbour, Fatick, Foundiougne, Kaolack, Guinguinéo, Birkelane, Kaffrine, dont certaines subdivisions sont quelque peu touchées par le système estuarien.

Conclusion

Il s'agit donc d'un milieu où sont identifiées après les années 1970 les mutations négatives suivantes:

- une baisse généralisée des totaux pluviométriques et des débits des cours d'eaux;
- de longues saisons sèches;
- une diminution des écoulements de surface ;
- un déficit de remplissage de la retenue de certains barrages
- une intrusion de la langue salée à l'intérieur des cours d'eau côtiers
- une baisse de la biodiversité estuarienne ;
- pour certaines nappes, une baisse du niveau réduit l'apport des nappes souterraines au niveau des principaux cours d'eau.

Dans l'étude de cet écosystème, plusieurs revues ont été consultées, de même que des sites web ; ce travail nous permis de proposer la problématique suivante.

Problématique

Les sécheresses des années 1970 et le déficit pluviométrique qui s'en est suivi ont favorisé dans le domaine intertropical, précisément dans les zones estuariennes, lagunaires et deltaïques, une diminution des apports d'eau douce. Cet écosystème insulaire a subi des transformations de son environnement physique depuis le Quaternaire Récent.

L'écosystème du Saloum est semi-amphibie et comporte trois types de milieux :

- continental, limité dans sa partie basse par les formations de mangrove et les tannes.
- Insulaire, avec trois grands archipels : le Gandoul au nord le Bétenty et le Fathala au sud sont séparés par trois bras : le Saloum ; le Diomboss et le Bandiala
- maritime s'étendant jusqu'au-delà de l'isobathe 6 m vers le large.

Du point de vue topographique, « cet estuaire draine un bassin, versant de 29 720 km² dont les altitudes sont très faibles ; très basses dans la zone insulaire, inférieures à un mètre dans les mangroves et les tannes, et inférieures à 05 mètres pour les parties les plus élevées des cordons sableux ; elles s'élèvent cependant jusqu'à une trentaine de mètres sur les bordures (Diop E.S., Sall M.M et *al* 1994) ».

Zone d'interface terre-mer, le littoral fait depuis quelques décennies, l'objet d'une attention particulière aussi bien de la part des pouvoirs publics que de la communauté scientifique.

Ce regain d'intérêt s'explique par ses potentialités écologiques économiques et son importance démographique.

Dans l'estuaire inverse du Saloum, à la salinisation s'ajoute l'exacerbation de l'érosion côtière qui a favorisé la rupture de la Flèche de Sangomar plaçant ainsi les unités géomorphologiques des îles de Dionewar et de Niodior en situation de front de mer. Les formations végétales constituées par la mangrove agissent sur les sédiments. Leurs racines permettent de diminuer la force des vagues, piègent les particules. Cette mangrove joue aussi un rôle chimique en consommant de "l'azote (N), du phosphore (P) ainsi que de l'oxygène" Walsh (1967).

Du point de vue climatique, la pénétration de la mousson de SW en rapport avec la progression vers le NE, commande le régime des pluies qui peut comporter plusieurs formes comme les lignes de grains.

Sur cette zone, se balance l'isohyète 800 mm qui donne le maximum de précipitations au mois d'août. La région connaît au moins 9 mois secs. Dans ces conditions, les déficits hydriques sont très importants.

Du point de vue hydrologique, plusieurs petits cours d'eau se jettent dans l'estuaire dont la Néma qui débouche dans le Bandiala. « Son débit est passé de 0,29 m³/s en 1976 à 0,03 m³/s en 1989 Albergel J et Dacosta H (1996) ». Cette baisse des apports d'eau douce combinée à une forte évaporation et à une pente très faible de 0,6 % a favorisé une pénétration des eaux marines, allongeant la langue salée. De plus dans le contexte de la péjoration climatique actuelle, l'extension de la salinité ne serait-elle pas fatale pour la dynamique déjà régressive des bordures de l'estuaire ?

Sur le plan océanographique et selon les spécialistes, « la circulation générale est réglée par les balancements saisonniers liés aux courants des Canaries et de Guinée. Le courant des Canaries est sous la dépendance du tourbillon subtropical Nord-Atlantique. Il alimente ensuite la dérive Nord-équatoriale et au mois d'août, il contribue à l'alimentation du courant de Guinée dont la branche principale est le contre-courant équatorial. La marée de type semi-diurne est sous l'influence de la disposition des fonds marins abyssaux et épicontinentaux de la région. Et la houle sur l'ensemble de la côte ouest-africaine représente un régime d'énergie modérée ».

Si ces conditions sont stables, et quels seraient leurs impacts sur la dynamique estuarienne, au cas où elles seraient modifiées?

*Du point de vue paléogéographique, les estuaires datent de l'Holocène, mais les îles ont commencé à exister à partir de la deuxième phase d'entaille c'est-à-dire durant le Tchadien (12 000 ans BP). Or, l'état d'un milieu littoral dépend, non seulement des conditions dans lesquelles il se baigne, mais également de son passé plus ou moins lointain. La connaissance de cette histoire peut permettre de déterminer ou de s'interroger sur :

- les processus naturels dominants, leur variabilité, la manière dont ils sont inscrits dans la dynamique du milieu ;
- la tendance évolutive jusqu'à une époque récente ;
- l'impact des modifications anthropiques récentes ;
- la réponse du milieu face aux différents types de stress possibles.

Comme réponses possibles, sont imaginables une modification des héritages, une accélération des processus d'érosion, de pollution, de salinisation et de d'extension des tannes. Dans ces conditions quel serait l'avenir des populations dans l'ensemble de la région ?

La progression actuelle du niveau marin n'a-t-elle pas de conséquences sur l'évolution des écosystèmes tropicaux estuariens ?

Les perturbations de l'hydrodynamisme estuarien auront des retombées dans les bordures du Saloum. Ainsi, les phénomènes d'acidification et de salinisation des eaux vont-ils toucher le substratum essentiellement composé de sables et d'argiles mélangés à une importante fraction de type organique. Mais ces formations argileuses ou sableuses sont peu épaisses. Elles ne dépassent pas une vingtaine de mètres au-dessus du Continental Terminal. Elles sont argileuses en surface et sableuses en profondeur.

Dans le contexte de péjoration climatique que connaît le Sénégal depuis plusieurs décennies, beaucoup de phénomènes naturels comme - l'acidification des eaux et des sols, la réduction de la pluviométrie limitant les disponibilités en eaux de surface - se sont amplifiés même dans les écosystèmes humides. Mais ce contexte est-il une suite logique des modifications passées du climat ?

Vernet J L (1997) a proposé une réponse en soulignant les variations suivantes dans la zone tempérée :

1000-1230 ans BP climat relativement doux

1230-1400 ans BP période plus perturbée

1400-1650 ans BP climat plus frais

1650-1850 ans BP climat plus froid, petit âge glaciaire

1850-1940 ans BP réchauffement

Depuis lors, il note un léger refroidissement. Ces variations seront sensibles sur les côtes de l'Afrique de l'Ouest par "des crises morphogéniques brèves" associées à des modifications climatiques de courte durée : les sécheresses de 1900-1903, celles de 1909-1916, 1940-1943, 1960-1985.

Face cette situation, beaucoup d'interrogations demeurent:

- quelle est la réponse du milieu estuarien ?
- comment établir une corrélation entre péjoration climatique et modifications des conditions océanographiques et quel est l'impact de ces transformations sur l'hydrodynamisme estuarien ?

De plus, selon les spécialistes, le Saloum est un estuaire inverse, ce qui implique un déséquilibre dans le transport de sédiments entre le flot et le jusant. « L'influence du régime estuarien inverse dans le Saloum, se manifeste également par le mode de croissance des barres de chenal vers l'amont. Ce processus illustre la prépondérance du flot et évoque aussi le fonctionnement de certains milieux lagunaires "(Barusseau J P et *al* 1986).

Les apports éoliens s'accroissent, les niveaux piézométriques des nappes baissent et ces dernières sont contaminées par les eaux salées et sursalées. Les tannes gagnent les terres

agricoles, provoquant une acidification et une salinisation de beaucoup d'hectares de terres de cultures. En outre, dans l'écosystème insulaire du Saloum, les modifications actuelles ont perturbé le transport et la navigation par un excès d'ensablement des chenaux.

En somme, beaucoup de questions se posent.

Questions de recherche

Quels sont les impacts de l'action des vagues sur les ressources pédologiques et végétales ?

Quelles seront les contraintes imposées par la morphologie des petits cours d'eau et l'extension de la salinité sur les terres de cultures ?

En définitive, l'objectif de ce travail est d'évaluer les impacts naturels des modifications climatiques et océanographiques récentes perturbant l'écosystème Saloum et ses bordures. Ou bien répondre à la question ; quels sont les impacts du changement climatique dans l'estuaire du Saloum et ses bordures?

En somme, quels sont les impacts écologiques et géomorphologiques nés des perturbations de l'écosystème du Saloum?

Dans le cadre général, nous tentons de dégager les impacts géomorphologiques et environnementaux des changements climatiques dans l'estuaire et ses régions de bordures.

De manière plus détaillée:

- montrer l'évolution des paramètres climatiques et océanographiques ;
- montrer que la crise environnementale du milieu est due au changement climatique ;
- analyser les différents facteurs qui concourent à la fragilisation de l'écosystème estuarien ;
- identifier les processus hydrodynamiques et leurs réponses sédimentaires ;
- identifier et localiser par les méthodes de terrain, le SIG et la télédétection, les unités morphologiques dans le domaine insulaire et le long des estuaires ;
- expliquer les causes de l'extension des tannes ;
- analyser la dynamique actuelle de l'estuaire face au changement climatique ;

Pour la réalisation de ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été avancées :

Hypothèses de recherche :

- le changement climatique a modifié les faciès sédimentaires dans toutes les unités morphologiques (contingence).
- le changement climatique a accéléré la dynamique des unités morphologiques ainsi que les mutations observées dans les régions de bordures (territoriale).
- les impacts des changements climatiques sont plus remarquables dans le domaine insulaire que dans les régions de bordures (hiérarchisation).

Avant de répondre à ces interrogations, certains mots méritent d'être éclaircis.

Définition des concepts.

Mais tout d'abord, tentons de définir certains concepts : Actuel ou Récent, Changement climatique, Pulsations, mutations, Impacts. Même si tous ces termes ne figurent dans le sujet, ils sont couramment utilisés.

L'idée **d'actuel ou de récent** et d'**ancien** : On parle de Quaternaire Ancien et de Quaternaire Récent, où le qualificatif récent désigne la dernière partie de cette période.

L'idée **d'actuel** désigne les changements en cours.

Le changement climatique peut être compris comme une modification durable des éléments du climat. Les changements sont dus soit aux processus inhérents à la dynamique de la Terre, soit, à des influences extérieures ou, plus récemment, à l'action de l'homme.

« Dans la Convention Cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le terme désigne uniquement les changements dus aux activités humaines. La Convention cadre utilise le terme « variabilité climatique » pour désigner les changements climatiques d'origine naturelle ».

Selon la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (2008),

« Le terme ‘‘ changements climatiques ‘‘ se réfère à des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ».

En définitive, les changements que nous prenons en compte sont les pulsations et les oscillations qui peuvent être qualifiées de récentes ; en insistant sur la période allant du XI^{ème} siècle au début du XXI^{ème} siècle.

Cette période a vu l'intervention de l'influence des activités humaines dans le système climatique. Et même si certaines modifications paraissent naturelles, la compréhension actuelle suppose une origine anthropique vu la célérité des processus.

Le mot **impact** est défini par le dictionnaire, comme « un effet produit par quelque chose ».

D'un point de vue strictement écologique, les impacts sont des modifications de dynamiques naturelles d'évolution aboutissant à des changements de l'état théorique d'écosystème. (Blandin, 1986)

L'impact est défini aussi comme l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine et/ ou environnementale sur une composante de l'écosystème pris dans le sens large du terme (c'est-à-dire englobant les aspects biophysiques et humains).

La méthodologie.

La tentative de réponse aux questions a abouti à :

- la compilation des données existantes : climat, océanographie, hydrologie, géologie, géomorphologie et caractérisation physique des écosystèmes ;
- la collecte des données de terrain permettant de définir le cadre physique actuel
- les images Landsat ;
- la caractérisation des processus actifs dans le domaine estuarien et continental ;
- les limites dans l'espace des anciennes positions des unités géomorphologiques ;
- les reconstructions paléogéographiques, mettant en relief les différents stades d'évolution ;

Cette Méthodologie comprend, les travaux de terrain et de laboratoire, enfin le traitement et la restitution de l'information.

***La collecte préliminaire de données**

La télédétection a aussi aidé pour la réalisation des cartes. Les images utilisées sont de certaines scènes sur l'ensemble du territoire national et centrées sur les îles.

Les principales sont : Landsat 1979, 1984, 1986, 2003, et 2011.

La collecte des données a porté aussi sur l'ensemble des paramètres ayant une incidence sur la dynamique actuelle. Il s'agit des données climatiques, océanographiques, hydrodynamiques pédologiques, géologiques, géomorphologiques et biogéographiques.

Elle comporte aussi des travaux de terrain

***Les travaux de terrain**

Le matériel

Sur le terrain, plusieurs outils ont été utilisés pour la collecte des données ; ce sont :

- une tarière, un GPS type Magellan et Garmin 76 CXS en couleur, un appareil photographique, un décamètre, des piquets de 1 m chacun, un disque de Secchi et une corde avec un poids de 5 kg pour mesurer la profondeur des cours d'eau.

Le protocole

L'échantillonnage se fait selon la nature du terrain : unités morphologiques sur le continent ou le long d'un cours d'eau. Il a été fait par transect c'est-à-dire selon la toposéquence recoupant plusieurs unités : cordon, tanne herbu, tanne nu, vasière à mangrove, fond du chenal, banc sableux, estran ou berge et vallée fossile.

Des prélèvements de sédiments de surface (N_0) comme de profondeur ont été effectués.

Pour la profondeur, les niveaux suivants ont été choisis : **N₁**, **N₂**, **N₃**, de la surface jusqu'à un mètre de profondeur. Ces points ont été repérés par GPS.

Des prélèvements de sable et d'argile ont été faits durant des campagnes dans les îles et leurs bordures de 1997 à 2014 selon un plan d'échantillonnage. (Tableaux 1 et 2)

Sur les cordons, les berges, les estrans les vallées fossiles et les bancs sableux, seul l'horizon a été prélevé. Dans les autres taxons, tous les niveaux ont été respectés.

Une autre méthode a consisté à mesurer l'érosion par la méthode des piquets (Deloffre, 2005 ; Sakho, 2011).

Le dispositif est constitué de trois tubes en PVC de 1 m de hauteur et 2 cm de diamètre chacun. Les 50 cm sont enfoncés dans la vase et les 50 cm restants représentent la hauteur de référence pour mesurer les variations topographiques (érosion / dépôt) à la surface des vasières et des estrans.

Ainsi, la disposition des piquets en forme de triangle permet d'avoir trois valeurs par relevé et par station et d'en faire une moyenne. Ces relevés se font à des intervalles réguliers.

Pour les éléments du climat les données ont été prises à l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal,

Enfin, les GPS Magellan, Garmin 76 Map, Garmin 76 Map CXS et la carte d'Encarta 2006 ont permis de donner les coordonnées de tous les transects sur les bolongs et dans les unités morphologiques où des échantillons ont été prélevés (tabl 1 et 2).

Tableau 1: échantillonnage dans les unités morphologiques du domaine insulaire.

Niv de 00 à 1m	Cordon	Banc sableux	Tanne herbu	Tanne nu	Vasière à mangrove	Estran ou berge	Fond du chenal	Sites	
00	x	x	x	x	x				Niodior 14
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00		x		x	x				Dionewar 9E
N1				x	x				
N2				x	x				
N3				x	x				
00	x		x	x	x		x		Falia 5E
00				x	x		x		Diogane 9E
N1				x	x				
N2				x	x				
N3				x	x				

00	x		x	x	x				Siwo 13E
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00	x		x	x	x		x		Moundé 14E
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00			x	x	x				Thialane sud 12E
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00	x		x	x			x		Thialane w 10E
N1			x	x					
N2			x	x					
N3			x	x					
00	x		x	x	x		x		Bassar 14E
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00	x			x	x		x		Bassoul 12E
N1				x	x				
N2				x	x				
N3				x	x				
00	x			x	x				Djimda 9E
N1				x	x				
N2				x	x				
N3				x	x				
00	x				x	x	x		Mar Lodji 7E
N1					x				
N2					x				
N3					x				
00				x	x		x		Mar Fafaco 9E
N1				x	x				
N2				x	x				
N3				x	x				
00			x	x			x		Diamniadio 9E
N1			x	x					
N2			x	x					
N3			x	x					
00	x			x	x		x		Foundiougne 10E
N1				x	x				
N2				x	x				
N3				x	x				
00				x	x	x			Fayako 9E
N1				x	x				
N2				x	x				

N3				x	x				
Total									165E

Tableau 2: échantillonnage dans les unités morphologiques du domaine continental.

Niv de 00 à 1m	Cordon	Banc sableux	Tanne herbu	Tanne nu	Vasière à mangrove	Estran ou berge	Fond du chenal	Sites	
00	x		x	x	x				Palmarin Nguéthie 13E
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00	x			x					Palmarin Diakhanor 5E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
00						x			Djifère 1E
00	x			x			x		Ndangane Diène 9E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
00				x			x		Sassara 5E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
00			x	x			x		Gamboul 9E
N1			x	x					
N2			x	x					
N3			x	x					
00	x			x			x		Kahone 10E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
00				x			x		Nianiandé 5E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
00			x	x		x			Ndimsiro 9E
N1			x	x					
N2			x	x					
N3			x	x					
00			x	x		x	x		Nawdourou10E
N1			x	x					
N2			x	x					
N3			x	x					

00						x	x		Latmin sud 2 ^E
00						x	x		Latmingué nord 2E
00			x	x		x	x		Tchikat Ba
N1			x	x					Ablaye 10E
N2			x	x					
N3			x	x					
00						x			Keur Kharen1E
00						x			Thiabane1E
00						x			Tchikat boy 1
00						x			Diamal 1
00						x			Birkelane 1E
00						x	Vallée fossile	Tounn 1	
00					x		x		Ndangane
N1					x				Sambou 5E
N2					x				
N3					x				
00				x					Djilass 4E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
00	x			x					Fimela 2EE
00	x			x			x		Fatick 6E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
00	x		x	x			x		Faoye 10E
N1	x		x	x			x		Fayil 7E
N2			x	x					
N3			x	x					
00			x	x					Ndiémou 8E
N1			x	x					
N2			x	x					
N3			x	x					
00				x					Tanno Mak 4E
N1				x					
N2				x					

N3				x					
00							Vallée fossile	Ngalagne 1E	
00			x					Mare	Ndoss Jaraff 5E
N1			x					x	
N2			x						
N3			x						
00						x	Vallée fossile	Mbak Mboye T 1E	
00							Vallée fossile	Ndiob 1E	
00	x		x	x	x		x		Sokone 14E
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00	x	x	x	x	x		x		Bakadadji 15E
N1			x	x	x				
N2			x	x	x				
N3			x	x	x				
00				x	x				Missirah 8E
N1				x	x				
N2				x	x				
N3				x	x				
00						x			Néma 1E
00		x		x					Toubacouta 5E
N1				x					
N2				x					
N3				x					
Total									188E

***Les travaux de laboratoire.**

Les travaux ont porté sur la granulométrie, calcul des paramètres texturaux, le traitement des données climatiques et des images satellitaires

***Granulométrie**

Les méthodes de granulométrie au laser ont été utilisées et l'analyse sédimentologique a été réalisée à l'ULP de Strasbourg selon la norme ISO 13320-1

Ces méthodes modernes sont initiées par Beckmann Coulter dans les années 1970 aux USA. Selon Beckmann Coulter (1970) «l'approximation de Fraunhofer et la théorie de Mie permettent le calcul d'une distribution de taille de particules comprises entre quelques dizaines de nanomètres et plusieurs milliers de micromètres.

Les différences entre ces deux modèles sont explicitées dans diverses normes ISO qui servent de base lors de l'analyse granulométrique.

Descriptif des normes

La norme de référence en analyse granulométrique est la norme ISO 13320-1 qui traite des principes généraux de l'analyse granulométrique par diffraction laser.

La norme décrit notamment le principe de mesure et les caractéristiques des appareils mais préconise également des modes opératoires pour la préparation des échantillons et fixe des valeurs de référence pour les mesures de répétabilité et de reproductibilité.

« La norme ISO 9276, Partie 1 à 5, est un descriptif des méthodes mathématiques et statistiques permettant le calcul de la distribution granulométrique ».

Cette analyse sédimentologique est faite suivant les méthodes modernes pour les échantillons de sables et d'argiles.

Enfin, un granulomètre laser est typiquement constitué de cinq sous-ensembles :

(Photos 5 et 6)

- un système de dispersion de la poudre ;
- un système de mise en circulation de la poudre ;
- un ensemble électronique d'amplification des signaux de mesure ;
- un banc optique ;
- un micro-ordinateur.

D'après la théorie de Fraunhofer, les particules doivent remplir les conditions suivantes :

- les particules sphériques doivent être non poreuses et opaques ;
- avoir un diamètre supérieur à la longueur d'onde ;
- doivent être suffisamment éloignées les unes des autres ;
- doivent être animées d'un mouvement aléatoire ;
- pouvoir diffracter la lumière avec la même efficacité quelle que soit leur taille.

Lorsqu'un faisceau laser éclaire une particule, s'observent des franges de diffraction. Selon Fraunhofer, l'intensité du rayonnement diffracté et l'angle de diffraction sont inversement proportionnels à la taille des particules. Plus la particule est petite, plus l'angle de diffraction est grand.

La théorie de Mie complète et remplace la théorie de Fraunhofer pour les particules inférieures à 100 μm .

L'opération comporte plusieurs phases :

- Préparation et dispersion de l'échantillon ;

- Principe de la granulométrie Laser ;
- Principe de mesure par diffraction ;
- Interaction lumière / matière.

***Préparation et dispersion de l'échantillon**

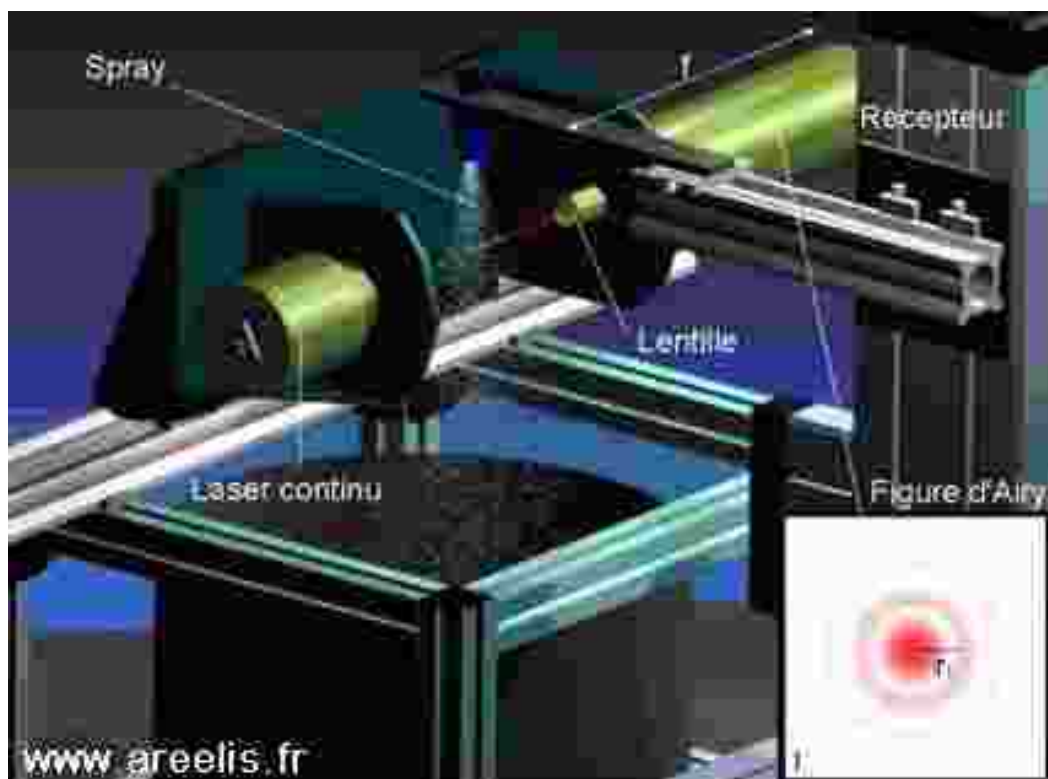
L'échantillon, préalablement dispersé dans un milieu liquide (ultrasons) ou mis en suspension dans un courant d'air, circule à travers une cellule de verre à faces parallèles éclairée par un faisceau de lumière laser (633 et 466 nm).

Par voie liquide, le liquide porteur doit être transparent à la longueur d'onde utilisée, neutre chimiquement, et d'indice de réfraction différent de celui de la particule. Il peut contenir un dispersant (tensio-actif), mais ne doit pas dissoudre les particules. Pour les poudres nanométriques, il est nécessaire d'utiliser les ultrasons afin d'éliminer les agglomérats ».

En outre, Beckmann Coulter souligne les principales méthodes :

- 1 - la granulométrie au laser Coulter LS ;
- 2 - la granulométrie submicronique par spectroscopie de corrélation de photons : le Coulter N4 PLUS.
- 3 - le comptage absolu à très haute résolution par le Coulter Multisizer II ;
- 4 - la mesure du potentiel Zêta par le Coulter Delsa 440 SX ;
- 5 - l'analyse de dispersion et d'émulsion par le Turbiscan ;

Photo 5: appareil d'analyse granulométrique



Les lignes qui suivent, détaillent le contenu du protocole de la granulométrie au laser.
C'est la seule méthode qui a été utilisée pour analyser les échantillons

***La granulométrie au Laser Coulter LS**

Elle date des années 1970, et permet de mesurer les rayons de particules ou de grains (farines, poudres, sables,...) entre 0,05 et 900 μm

Photo 6: appareil d'analyse granulométrique



***Principe de la granulométrie Laser**

Cette technique est basée sur la diffraction de la lumière d'un laser. Les sédiments sont convoyés par de l'eau ou par de l'air et passent dans un faisceau laser. Lorsque le faisceau laser éclaire une particule, s'observent des franges de diffraction.

L'intensité du rayonnement diffracté et l'angle de diffraction sont inversement proportionnels à la taille des particules (plus la particule est petite, plus l'angle de diffraction est grand) : c'est ainsi qu'est obtenue « la tâche d'Airy ».

La distribution granulométrique est déduite de l'interaction entre un ensemble de particules et le faisceau laser incident obtenu à partir de l'analyse de la tâche de diffraction du faisceau.

2 modes de dispersion sèche ou humide ont été utilisés.

***Principe de mesure par diffraction**

Lorsque la lumière éclaire un matériau dont le constant diélectrique diffère de 1, elle est absorbée ou diffusée, ou les deux à la fois, selon sa longueur d'onde et ses propriétés

optiques. Cette lumière diffusée est la somme de trois composantes : réfraction, réflexion et diffusion.

*** Interaction lumière / matière**

L'énergie lumineuse absorbée, qui devient énergie d'excitation de la particule, se dissipe principalement par dégradation thermique. Elle sera transformée en chaleur, ou sera perdue par extinction de la radiation en produisant de la fluorescence ou de la phosphorescence, selon la structure électronique de la particule.

La lumière est diffusée dans toutes les directions mais l'intensité de diffusion est la plus forte à l'avant et provient essentiellement du phénomène de diffraction.

Le principe de fonctionnement est le suivant « les particules passent à travers un rayon laser fixe. Chaque particule diffracte la lumière selon un angle qui est inversement proportionnel à sa taille.

La lumière diffractée est recueillie par un détecteur multiéléments. L'image de diffraction obtenue est transformée en utilisant un modèle optique et une procédure mathématique appropriés (théorie de Mie ou théorie de Fraunhofer). Le résultat, illustré sous forme de courbe semi-logarithmique, est une distribution de particules en volume (diamètre d'une sphère de volume équivalent) ».

***Théorie de Fraunhofer et Théorie de mie**

Lorsque la dimension de la particule est grande devant la longueur d'onde incidente, ou lorsque le matériau est très absorbant, l'effet de bord des particules contribue pour une part prépondérante à l'intensité totale diffusée. L'inférence provient alors principalement du contenu de la particule, c'est à dire de la diffraction créée par la courbe de la lumière à l'interface. Dans ce cas, le modèle mathématique utilisé pour le calcul de la courbe granulométrique est la Théorie de Fraunhofer. Ce modèle présente l'intérêt de s'affranchir totalement de propriétés optiques de l'échantillon et du milieu porteur.

En revanche, lorsque la dimension de la particule avoisine la longueur incidente, c'est à dire inférieure à quelques micromètres, on procède par la Théorie de Mie pour prendre en compte les indices de réfraction de l'échantillon et du porteur.

La méthode moderne qu'elle a utilisée va permettre de prendre en compte d'autres paramètres comme les indices granulométriques.

***Les indices granulométriques.**

Se distinguent le Q_n , le Me , le So , le Q_d , le C_u , le σ_Φ

Q_n = la dimension en μm / 100 d'un fractile correspondant à un pourcentage cumulé de n % des particules de dimensions inférieures à Q_n .

Q_n = la dimension en unités Φ d'un fractile correspondant à un pourcentage cumulé de n % de grains dont les dimensions, exprimées en unités Φ , est inférieure à Q_n , donc dimensions géométriques (exprimées en 10^{-5} mm) supérieures à celles correspondant à Q_n .

Me = la médiane de la distribution.

Les indices de classement sont ceux de :

-**Trask, So** (sorting index) ou Krumbein Q_d ou d'Inman σ_Φ , $So = (q_{75}/q_{25})^{1/2}$

Lequel est égal à 1 pour un classement parfait et est d'autant plus élevé que le classement est plus mauvais.

Suivant sa valeur, on distingue plusieurs types de sables :

- sables très bien classés : $\sigma < 0,35 \Phi$;
- sables bien classés : $0,35 \Phi < \sigma < 0,5 \Phi$;
- Sables modérément classés : $0,5 \Phi < \sigma < 1 \Phi$;
- Sables mal classés : $1 \Phi < \sigma < 2 \Phi$;
- Sables très mal classés : $2 \Phi < \sigma < 4 \Phi$;

La majorité des sables ont des valeurs d'écart type variant de 0,29 à 0,48 Φ . Ils sont donc bien à très bien classés et sont déposés dans des milieux calmes, à faible énergie.

Hazen, C_u

$$C_u = q_{60}/q_{10}$$

Si C_u est supérieure à 2,5, la granulométrie est variée.

Moyennes empiriques

Moyennes arithmétiques de Trask, M

$$M = (Q_{75} + Q_{25})/2$$

Moyenne Φ d'Inman, M_Φ

$$M_\Phi = (Q_{16} + Q_{84})/2$$

Moyenne de Folk and Ward, M_z

$$M_z = (Q_{16} + Q_{50} + Q_{84})/3$$

Skewness ou coefficient d'asymétrie (SK_i)

Ou Coefficients de dissymétrie

$$\text{Coefficient de dissymétrie de folk and Ward, } SKI : SKI = [(Q_{16} + Q_{84} - 2Q_{50}) / (2(Q_{84} - Q_{16}))] + [(Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}) / (2(Q_{95} - Q_5))]$$

S'il est égal à zéro, la courbe est symétrique ce qui implique que la quantité de particules fines est égale à celle des grossières. Mais quand il tend vers +1, il y a un excédent en particules fines, et en grossières s'il tend vers -1.

Il permet de déterminer la déviation de la courbe granulométrique par rapport à la courbe de Gauss.

En fonction de sa valeur, on distingue :

-1 $\emptyset$ < S_{ki} < -0,30 $\emptyset$: Courbe très asymétrique vers les grossiers ;

-0,30 $\emptyset$ < S_{ki} < -0,10 $\emptyset$: Courbe asymétrique vers les grossiers ;

-0,10 $\emptyset$ < S_{ki} < 0,10 $\emptyset$: Courbe presque symétrique ;

-0,10 $\emptyset$ < S_{ki} < 0,30 $\emptyset$: Courbe asymétrique vers les fins ;

-0,30 $\emptyset$ < S_{ki} < 1 $\emptyset$: Courbe très asymétrique vers les fins.

Coefficient d'acuité ou d'angulosité.

Krumbein et Pettijohn, K : Krumbein ou hétéromère ; il est nul pour un matériau parfaitement classé et sa valeur est d'autant plus élevée que le sédiment est mal classé.

$$K = (q_{75} - q_{25}) / [2(q_{90} - q_{10})]$$

Inman, $K\Phi$

$$K\Phi = 1/2(Q_{95} - Q_5) - \sigma\Phi$$

Folk and Ward, KG

$KG = (Q_{95} - Q_5) / 2,44(Q_{75} - Q_{25})$ Sa valeur est égale à 1, quand la courbe est normale ; supérieure à 1, quand le sédiment est bien trié dans la partie centrale, et inférieure à 1 quand il est mal trié.

Coefficient de courbure,

$$C_c = \frac{(d_{60})^2}{d_{10} \times d_{30}}$$

Ou

$$C_c = q_{30}^2 / (q_{10} \times q_{60})$$

Coefficient de symétrie, C_s

$$C_s = q_{50}^2 / (q_{10} \times q_{60}).$$

Coefficient d'uniformité (C_u) ou coefficient de Hazen :

Il caractérise l'étalement de la granulométrie et est défini par la relation suivante:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \text{Avec : } d_{60} : \text{taille des grains (mm) correspondant à 60 \% du poids cumulé et } d_{10} : \text{taille des grains (mm) correspondant à 10\% du poids cumulé}$$

Il permet de qualifier la granulométrie des sables en

- $U < 2$: granulométrie uniforme

- $U > 2$: granulométrie variée

***interprétation des paramètres**

Suivant la forme granulométrique et la valeur des 2 coefficients, (C_c C_u) on dira que la granulométrie est étalée ou serrée, continue ou discontinue, bien graduée ou mal graduée.

Mais pour les sédiments, c'est la valeur du Kurtosis qui va faire la différence dans la distribution. Le Kurtosis est compris entre 1 et 1,5 la distribution est mésokurtique, Platykurtique si le ($KG < 0,6$), et Leptokurtique si le ($KG > 1,5$)

Un coefficient de Fisher positif traduit une distribution leptokurtique (distribution qui s'élève assez haut puis retombe assez brutalement). Enfin, une distribution normale est mésokurtique et une distribution à « queues épaisses », dont le coefficient est négatif est platykurtique

La distribution peut être platykurtique ou leptokurtique. La distribution leptokurtique témoigne d'une plus grande homogénéité de la taille des particules.

Le Kurtosis indique la forme de la courbe de distribution. Une distribution normale a une Kurtosis de 3. Si la distribution possède une Kurtosis supérieure, elle est dite leptokurtique.

En bref, un Kurtosis élevée (distribution leptokurtique) indique que la variance est principalement due à des déviations peu fréquentes mais extrêmes, tandis qu'un Kurtosis faible (platykurtique) illustre des déviations fréquentes mais de faibles amplitudes.

Les figures ci- dessous (4 et 5) donnent des exemples de courbes granulométriques.

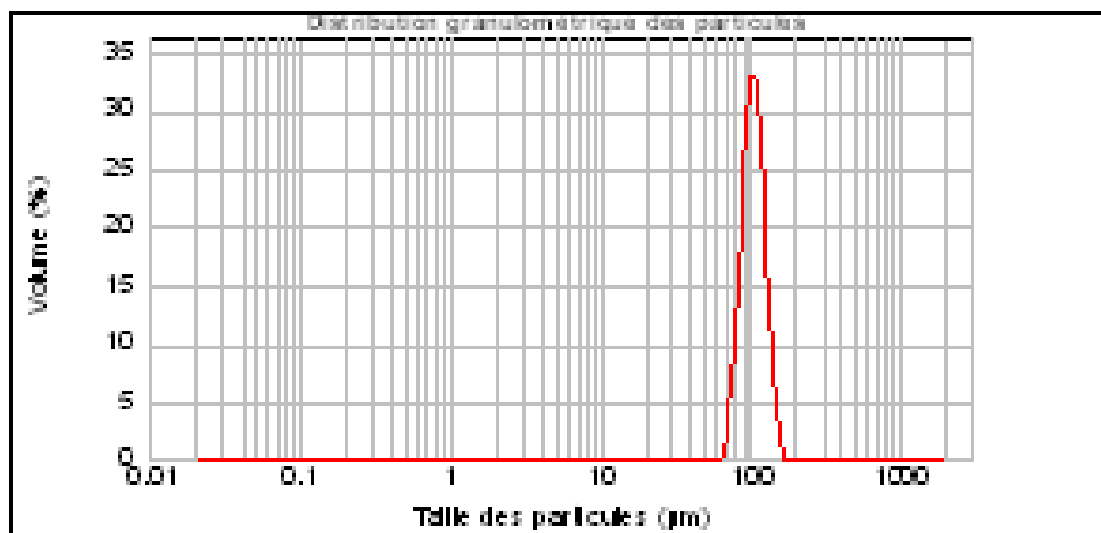


Figure 4: Courbes de fréquences à partir des poids simples

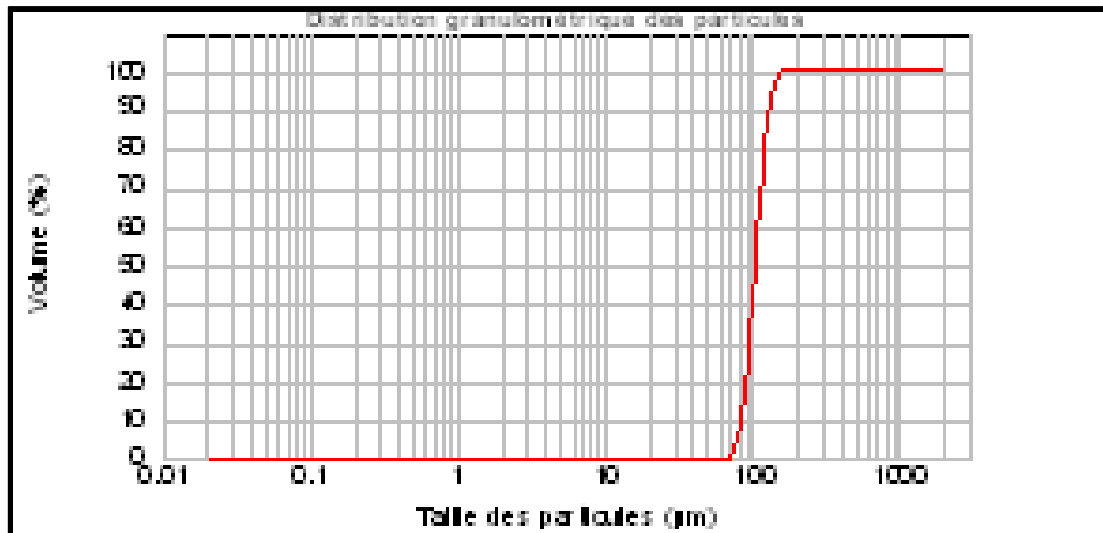


Figure 5: Courbes de distribution granulométrique et des poids cumulés

***Les processus sédimentaires.**

La connaissance de la dynamique sédimentaire permet d'appréhender les processus d'envasement et de colmatage dont ces milieux sont le siège.

Dans les estuaires inverses, la marée joue un rôle essentiel, d'une part en créant de forts remaniements des fonds, d'autre part en provoquant des concentrations de charges turbides indépendantes de la circulation de densité. L'analyse granulométrique montre plusieurs espaces sédimentaires différents :

- une zone deltaïque constituée essentiellement de sédiments sableux.
- l'estuaire présente des sédiments de fond essentiellement sablo-argileux.

La répartition spatiale des sédiments dans l'estuaire dépend principalement des conditions hydrodynamiques. Ce critère nous permet d'identifier plusieurs secteurs :

- une zone d'embouchure hydro dynamiquement active,
- une zone deltaïque
- et une zone estuarienne dans l'axe du chenal du Saloum aux conditions relativement calmes.

Le rôle de la marée est fondamental sur la dynamique sédimentaire, notamment sur la remise en suspension des dépôts et sur le piégeage des matières en suspension (M.E.S.).

Les nombreux processus qui contribuent au flux sédimentaire à l'intérieur d'un estuaire.

- Il contribue au contrôle de l'érosion du littoral en servant de bouclier contre les puissantes vagues de l'océan et les courants.
- Il contribue à la filtration des produits chimiques nocifs qui pénètrent à l'intérieur de l'estuaire des deux côtés.

Le transport des sédiments et leur dépôt dans l'estuaire dépendent de divers facteurs comme la marée et le vent.

Les sédiments que l'on retrouve dans un estuaire proviennent de l'érosion le long des rives des cours d'eau, de l'érosion qui se produit dans les cours d'eau eux-mêmes par le frottement des roches entre elles, de la force que le vent exerce sur les cours d'eau, des eaux de ruissellement des terres de cultures du bas plateau du CT.

L'érosion et le transport des sédiments sont accélérés par l'augmentation des courants le long des rives des cours d'eau et cela est favorisé par les changements globaux en cours.

Pour sa part, l'océan apporte aussi de nombreux éléments dans un estuaire : du sable provenant des promontoires avoisinants, du phytoplancton et du zooplancton, ainsi que des fragments de coquilles provenant de la plate-forme continentale.

La rencontre d'une masse d'eau douce et d'une masse d'eau salée provoque un ralentissement des courants qui permet aux sédiments de se déposer. Mais tel n'est pas le cas du Saloum.

Par ce point, sont examinées les relations entre changement climatique et modification des faciès sédimentaires au niveau des unités morphologiques et particulièrement les rapports entre les tannes nus et le bas plateau du CT.

***Le traitement des données pluviométriques**

Dans l'analyse des données climatiques, comme les précipitations, beaucoup d'indices ont été calculés :

- les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations ;
- les écarts à la normale et à la moyenne de 1961- 1990
- les courbes de tendance;
- les indices pluviométriques, les anomalies standardisées, et les moyennes mobiles sur 5ans ;
- la variabilité spatio- temporelle des précipitations à l'échelle de la région.

L'analyse des données pluviométriques est basée sur :

- la statistique descriptive qui concerne la moyenne, la comparaison avec la normale 1961-1990 ;
- l'évolution inter-décennale ;
- la méthode des anomalies standardisées (SA) selon la formule : $AS = (XI - XM) / SI$
XI= cumul de la pluie pour une année I
XM= moyenne annuelle des pluies sur la période 1983-2012
SI= écart type des cumuls annuels sur la même période (tabl 3).

Tableau 3: classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du SPI,

Classes du SPI	Degrés de la sécheresse
SPI <2	Humidité extrême
1<SPI<2	Humidité forte
0<SPI<1	Humidité modérée
-1<SPI<0	Sécheresse modérée
-2<SPI<-1	Sécheresse forte
SPI<-2	Sécheresse extrême

(Ndiaye A 2012)

***Le traitement des images satellitales (tabl 4 et 5).**

Dans ce sens le CSE nous souligne que les premières couvertures aériennes intéressant le Sénégal ont été réalisées par l'Institut Géographique National (IGN) de Paris en 1954 et en 1970. Actuellement l'imagerie satellitaire constitue la principale source d'informations sur l'état des ressources naturelles au Sénégal.

Ce traitement consiste à identifier les différentes unités morphologiques dans les îles et dans les régions de bordures. Divers procédés dont le prétraitement et le traitement numérique des images ont été utilisés. Les images ont été interprétées de façon diachronique.

Tableau 4: Collection ; images Landsat archives. Landsat 4- 5 TM

Années	Mois
1979	novembre
1986	novembre
1992	novembre
2009	Novembre
2011	Novembre

Tableau 5: coordonnées des palettes

palettes		Latitude- longitude	
1	205 - 50	14 - 5	-16,2
2	205 - 51	14 - 5	-15,1
3	204 - 50	14 - 5	-15,1
4	203 - 50	14 - 5	-13,6
5	205 - 49	14 - 9	-16,4

Plusieurs procédés ont été utilisés pour la confection définitive des cartes diachroniques ; nous notons, le prétraitement, la correction géométrique, l'extraction de l'espace d'étude, la composition colorée des bandes spectrales et la classification.

***Le prétraitement**

Il se fait avant l'analyse des images. Il s'agit de la combinaison des bandes, la correction géométrique, l'extraction de la zone d'étude et la composition colorée des bandes spectrales.

***l'extraction de la zone d'étude**

Des images collection Landsat Archive : Landsat 4- 5 TM de 1979 aux années 2010, ont été utilisées. Il s'agit de celles de :

- 1979 au mois de novembre ;
- 1986 au mois de novembre
- 1992 au mois de novembre
- 2009 au mois de novembre
- 2011 au mois de novembre, en raison de 5 palettes par image.

L'extraction de l'espace étudié sur 5 palettes entières, consiste à découper la partie qui concerne uniquement le bassin du Saloum. Cet exercice est effectué à l'aide de la limite du bassin versant du Saloum et des régions de bordures. Elle est sous format polygone. La délimitation a été facilitée par le Modèle Numérique de Terrain (MNT) sous format Rasteur tiré de la base de données du site USGS.

***Traitement des données**

Il est fait par les logiciels Word, Excel, MapInfo, Arc Gis, Erdas Imagine.

La cartographie diachronique a été faite par Bineta Faye, Khady Kama, et Mame Aïssatou Touré. Elles ont utilisé la méthodologie suivante :

a) la collecte et l'organisation des données.

L'organisation des informations a été faite avec les logiciels Excel, Erdas, Arc Gis 9.3 et Arc Swat (figure N°3)

b) Géoréférencement des images ou correction géométrique.

Le géoréférencement consiste à établir une relation entre les coordonnées spatiales sur une carte et les coordonnées connues dans la réalité. Pour y parvenir nous avons utilisé l'image Landsat de 1972-11-05-321 qui est correctement projetée comme une image de référence. Pour faciliter le calage nous avons choisi des points qui se localisent sur les intersections des réseaux hydrographiques, des routes et des villages. Les coordonnées Universal Transverse Mercator (UTM) des quatre points choisis sur l'image de référence et l'image à géoréférencer sont introduites dans le fichier de contrôle (GCP Tools). Ce fichier nous permet de bien observer l'erreur quadratique moyenne (RMS : Root Mean Square) et de procéder à des rectifications si le RMS est supérieur à 0,15. Cependant, le RMS des quatre points est inférieur à 0,15.

Cela signifie que les images sont bien calées (fig. N°6).

-la composition colorée des bandes spectrales :

Le principe est d'affecter les trois couleurs primaires aux bandes spectrales de l'image dans le but d'avoir une composition colorée en vraies couleurs ou une composition colorée dite infrarouge fausses couleurs. Dans cette opération, l'objectif visé est de mettre en relief les unités morphologiques de l'espace étudié.

Dans cette combinaison, sont attribuées aux bandes spectrales du capteur Thematic Mapper, les trois couleurs primaires correspondantes : du bleu, du vert et du rouge.

Il en résulte les correspondances suivantes :

- la bande 5 au rouge ;
- la bande 4 au vert ;
- et la bande 3 au bleu (tabl 6).

Enfin, les taxons morphologiques sont identifiés en fonction de leurs couleurs respectives.

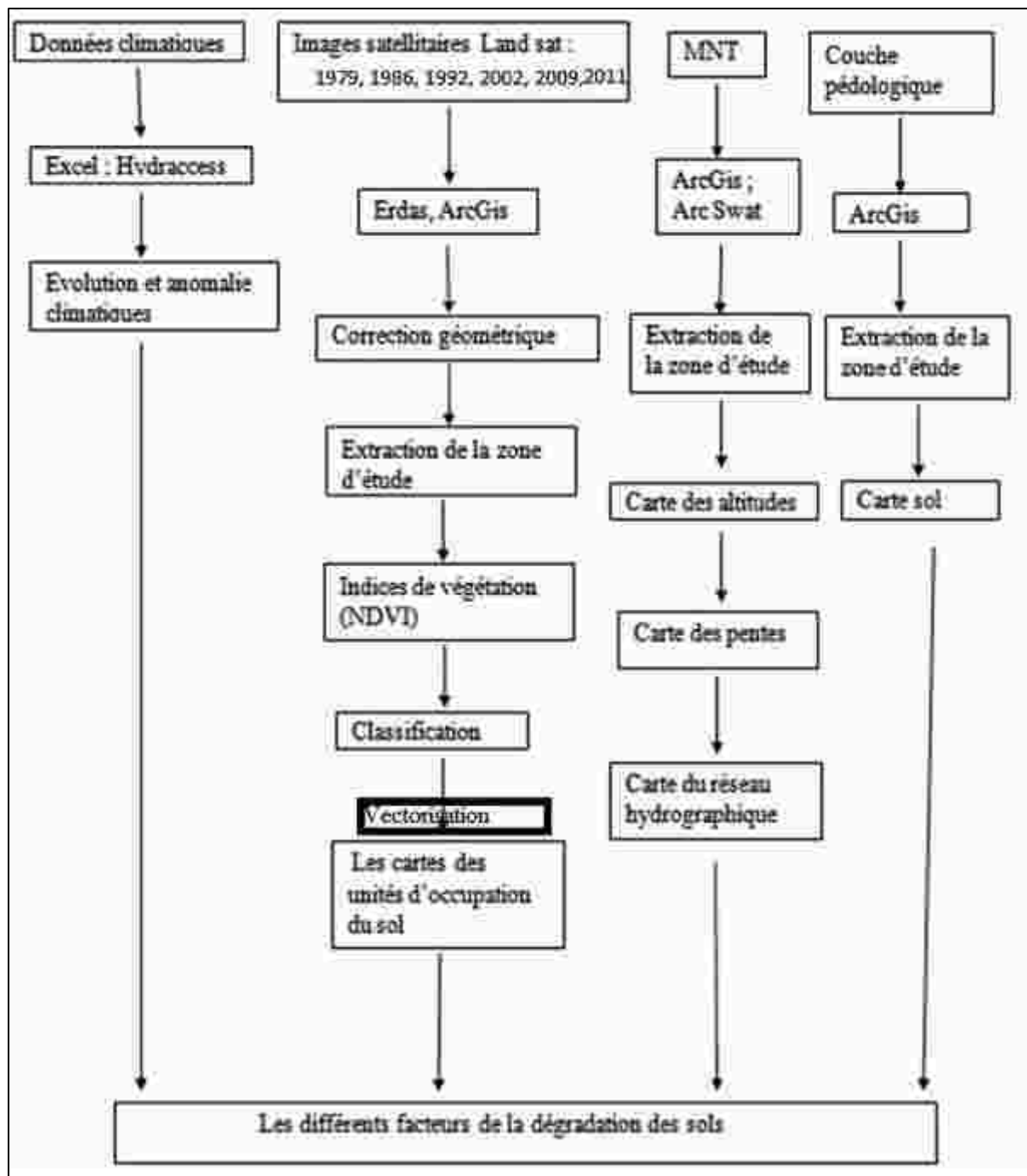


Figure 6: organigramme de la méthodologie pour l'extraction des images et la confection des cartes.

Les classifications

La classification est un processus de reconnaissance des informations contenues dans une image satellitaire. En télédétection, elle consiste à effectuer une correspondance entre les éléments de l'image matérialisée généralement par des bandes spectrales et des classes connues ou non par l'analyste. La classification non supervisée est utilisée dans cette présente étude. Lors de l'utilisation de cette méthode, nous avons identifié des échantillons assez homogènes. Ils sont représentatifs des différentes unités d'occupation du sol (eau ; végétation ; sols nus ; tanne). Cette distinction est basée sur la composition colorée en « vraies couleurs ». Dans une image en vraies couleurs, on affecte aux bandes spectrales acquises dans les longueurs d'onde du bleu ; du vert et du rouge. L'image résultante correspond donc exactement à ce que l'on pourrait observer sur le terrain. Dans le tableau, l'eau apparaît en bleu, la végétation en vert, la mangrove en vert foncé, les sols nus en vert pomme et les tannes en blanc. La sélection des informations est fondée sur une connaissance du milieu grâce à un déplacement sur le terrain. Ensuite, les résultats obtenus de la classification sont validés par les coordonnées géographiques de chaque unité, prises lors de notre descente sur le terrain.

Tableau 6: Grille d'identification et d'interprétation des principaux types d'unités

Image	Couleurs/ bandes spectrales			Types d'unités			
Landsat TM	Rouge	Vert	Bleu	Eau	Végétation	Sols nus	Tanne
Bandes	1	2	3	Bleu	Vert (forêt), Vert foncé (mangrove)	Vert pomme	Blanc

***La statistique et l'habillage des cartes**

Après la classification, nous avons importé les images classifiées dans Arc Gis pour faire le traitement et l'habillage des cartes. Les statistiques déterminent les valeurs des unités en hectares. Pour ce faire, les données sont converties en format Shape à l'aide de l'extension Spatial Analyst qui se trouve dans le logiciel Arc Gis.

Le calcul des statistiques consiste à déterminer les valeurs des unités en m². Ces surfaces calculées en mètres carrés sont converties en hectares

Le logiciel de système d'informations géographiques nous a permis de faire l'extraction des données qui nous intéressent à partir de la base de données issues de la DTGC. Ces différentes données nous ont permis de compléter nos informations. Après ces étapes nous avons procédé à l'habillage des différentes cartes.

Un plan en huit grands chapitres est adopté.

Chapitre 1 : la tectonique et paléogéographie quaternaire

Chapitre 2 : ressources en eaux douces et estuariennes

Chapitre 3 : dynamique des conditions climatiques

Chapitre 4 : les conditions océanographiques et estuariennes

Chapitre 5 : les impacts sur la dynamique côtière et estuarienne

Chapitre 6 : les unités morphologiques : localisation, caractérisation, sédimentologie et dynamique

Chapitre 7: impacts géomorphologiques et environnementaux dans les bordures de l'estuaire du Saloum.

Chapitre 8 : aménagement intégré des unités morphologiques et stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.

Ces deux premiers chapitres basés sur la recherche documentaire, visent à présenter la région d'étude dans son contexte géomorphologique à travers sa tectonique, sa paléogéographie quaternaire et ses ressources en eaux douces et salées.

Chapitre 1 : La tectonique et la paléogéographie quaternaire

1.1. La tectonique

1.2. La paléogéographie Quaternaire

1.2.1) l'Anté Holocène

1.2.2) le Quaternaire Récent

1.2.3) la phase Tchadienne

1.2.4) l'évolution Holocène

1.2.5) l'évolution au Subactuel et à l'Actuel

Chapitre 2 : les ressources en eaux

Introduction

2.1 La nappe du Continental Terminal

2.2. La nappe quaternaire

2.3. Les eaux de surface

Conclusion

Chapitre 1 : La tectonique et la paléogéographie quaternaire

1.1. La tectonique

1.2. La paléogéographie Quaternaire

1.2.1) l'Anté Holocène

1.2.2) le Quaternaire Récent

1.2.3) la phase Tchadienne

1.2.4) l'évolution Holocène

1.2.5) l'évolution au Subactuel et à l'Actuel

Conclusion

Introduction

Le delta du Saloum et ses régions de bordures constituent un sous-ensemble du bassin sénégalais qui est une partie intégrante du bassin sédimentaire méso-cénozoïque sénégal-mauritanien. Ce dernier s'allonge sur 1400 km au nord au nord du Cap Barbas en Mauritanie, jusqu'au sud de Bissau en Guinée au Cap Roxo.

Bellion et *al* (1984), signalent que « ce bassin est constitué de couches disposées en séries monoclinales à pendage ouest, s'ennoyant sous les flots. Avec une superficie de l'ordre de 340 000 km², il s'étend du nord au sud sur environ 1 400 km entre le Cap Barbas en Mauritanie et le Cap Roxo en Guinée Bissau, en passant par le Sénégal et la Gambie. Sa plus grande largeur se situe à la latitude de Dakar avec 560 km».

Nos commentaires et analyses s'inspirent des nombreuses études et observations de spécialistes de l'histoire géologique du bassin sénégal-mauritanien :

Tessier F. (1952), Castelain (1965), A. De Spengler et *al* (1966), Monciardini (1966), Lappartient J.R. (1967), Hébrard L, Faure H, Elouard Paul (1969), Michel P. (1969 et 1973), Demoulin D (1971), Lappartient J.R, Flicotteaux R. (1975), Nahon D (1976), Cantabrel J.M et *al* (1976), Diop E.S (1978), Diop E.S et Sall MM (1979).

D'autres chercheurs ont plus récemment étudié à fond ce bassin au point de vue géologique. Nahon D et *al* (1980), Dia A (1980 et 1982), Kogbe A (1980 et 1981),

Jones J.W, Mgbatogu C.C.S. (1982), Sall MM (1982), Faye (1983), Bellion Y et Guiraud R (1984), Le Priol et Dieng (1985), Bellion Y et Debenay (1986), Diop E.S (1986), Bellion Y. (1987), Dieng (1987), Sarr (1995) et Diaw A.T (1997). Les potentialités et les particularités des îles du Saloum n'ont cessé d'attirer l'attention de beaucoup de chercheurs dans les domaines variés (Michel, 1973; Sall MM, 1983 ; Diop, 1990), l'hydrologie (Barusseau et *al*, 1985 ; Saos et Pagès, 1985), la pédologie (Kalck, 1978 ; Marius C, 1985), la sédimentologie (Ausseil-Badié et *al*, 1991 ; Barusseau et *al*, 1983, 1985, 1995), (Diaw A T 1997).

Du point de vue géologique, lors de l'ouverture de l'Atlantique, c'est le rejeu de failles transformantes qui provoque l'effondrement de la marge et la mise en place des bassins sédimentaires côtiers (Jacobi et Hayes, 1982 ; Jones et Mgbagotu, 1982). Le plus ancien, d'âge mésozoïque; est le bassin sénégal-mauritanien.

Au Crétacé, le bassin s'est développé sur l'arrière-pays. La subsidence et la sédimentation sont alors intenses. La transgression s'achève au Maastrichtien. La réactivation des zones de fractures permet, ultérieurement, l'écoulement du fleuve Gambie à partir du Fouta-Djalon.

Au Sénégal, les cours d'eau suivent les structures libériennes. La sédimentation marine tertiaire se termine par le dépôt d'une formation fortement transformée par l'altération

continentale appelée "Continental Terminal" (Tessier *et al.*, 1975 ; Lappartient, 1978 ; Kogbe, 1980, 1981)

Bellion *et al.*, 1984 ajoutent que « le delta du Saloum s'est mis en place dans une marge atlantique passive caractérisée par une relative stabilité tectonique. Il s'est développé en bordure du bassin sénégal-mauritanien, subsidant à l'échelle géologique, avec des formations sédimentaires mésozoïques, cénozoïques et quaternaires, vastes séries monoclinales à pendage ouest s'ennoyant sous l'océan ». C'est la même idée soutenue par Barusseau J P *et al.* (1999) pour qui, « les systèmes estuariens ayant généré les mangroves des Rivières du Sud se mettent en place dans une marge atlantique passive caractérisée par une relative stabilité tectonique ».

Ce bassin au relief modeste (moins de 200 m d'altitude) englobe l'ensemble des estuaires du Saloum, de la Gambie, de la Casamance, de l'extrême Nord-ouest de la Guinée-Bissau et des archipels Bissagos caractérisés par des côtes sédimentaires basses.

La configuration actuelle du delta du Saloum résulte aussi de l'histoire quaternaire de cette région, marquée par des variations du niveau marin et des changements climatiques.

Le Quaternaire Ancien est probablement constitué par des niveaux transgressifs très faiblement étagés, disposés le long des rivages des anciens golfes (Barusseau *et al.*, 1999), C'est au Quaternaire Récent (postglaciaire et Holocène) que la morphogenèse littorale des systèmes estuariens est déterminante ». Nos objectifs ici sont de reconstituer la structure tectonique, d'évaluer les ressources hydrogéologiques et de retracer l'évolution paléogéographique du bassin du Saloum.

1.1. La tectonique

La tectonique de la Petite Côte est à l'image de celle de l'Afrique de l'Ouest marquée par deux grandes phases : une paléo tectonique et une néotectonique. Selon Turmine V (2001), « la néotectonique affecte donc l'ensemble du littoral des pays des Rivières du Sud. Celle-ci, toujours en relation avec l'ouverture de l'Atlantique central, est responsable de surélévation de terrasses marines avec un soulèvement post-Inchirien (après 31 000 BP) de 2,20 m vers la Nougouma (près de Toubab Dialaw, Petite Côte) et également la présence d'une plage perchée vers Dakar, datée entre 1910 et 2880 BP (Demoulin et *al*, 1969). Cependant, il semble que cette néotectonique soit plus active au sud, comme l'ont montré d'une part, la présence de coudes anguleux, ou encore celle des vallées sèches perchées sur les plateaux gréseux, et d'autre part, les récents séismes qui ont affecté la Basse-Guinée comme ceux de Koumbia (1983) et de Boffa (1986) (Turmine V 2001) ».

La néotectonique intervient donc de deux manières dans la mobilité du littoral :

- elle participe à la mise en place d'un relief et d'une énergie de relief qui intervient sur la sédimentation détritique côtière ;
- elle engendre un étagement des formes littorales et l'affleurement de formations sédimentaires qui constituent de nouvelles sources sédimentaires ».

Mais, pour Le Priol et Dieng (1985), « la zone du Saloum ne présente pas une tectonique apparente marquée. Elle montre une multitude d'accidents assimilables à des failles ou des discontinuités qui sont responsables de la mise en place de zones effondrées et de zones hautes ».

En outre, Castelain J, De Spengler A et *al* « montrent que le bassin est caractérisé sur le plan structural, par un approfondissement important de différentes couches dans sa partie méridionale et une tendance continue à la subsidence ».

Enfin, Diop E.S (1986), en se basant sur les caractéristiques géomorphologiques ainsi que sur le contrôle structural et les phénomènes eustatiques, a classé les systèmes estuariens des Rivières du Sud en plusieurs catégories :

« - les estuaires marécageux, plats, caractérisés par des vasières plus importantes, une végétation de mangrove plus fournie et un plateau continental très étendu ; les estuaires constitués de formations sableuses ; ils sont beaucoup plus localisés dans cette région avec des formations typiques de dépôts sableux : c'est le cas du Saloum, au nord du Gandoul au faible plateau continental ».

Le tableau 7, montre les impacts naturels le long de la Petite Côte et des îles du Saloum du contexte géologique.

Tableau 7: contexte géologique et impacts naturels le long de la Petite Côte et des îles du Saloum

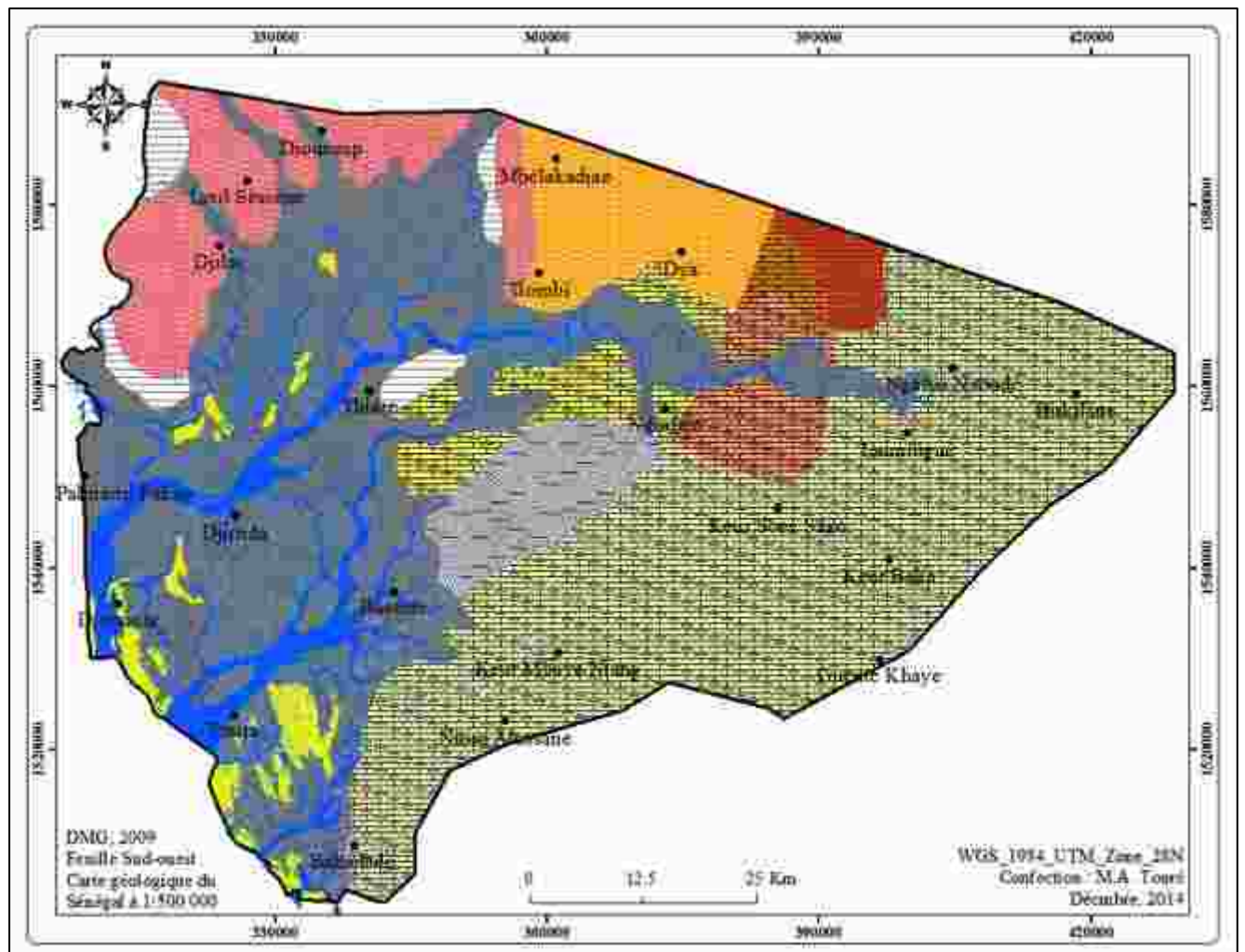
	Petite Côte et îles du Saloum
Contexte géologique	Bassin sédimentaire peu déformé
Héritages quaternaires	Succession de cordons dunaires et vasières nouakchottiennes
Topographie et hydrologie	Faible énergie de relief et cours d'eau à très faibles débits
Bathymétrie et sédimentologie sous-marine	Large plateau continental peu profond avec couverture sableuse héritée
Conditions climatiques	Saisons sèches et processus éoliens dominants
Impacts de la péjoration climatique	Renforcement des processus éoliens et du régime hydrodynamique ; accroissement des tannes
Mobilité du trait de côte	- mobilité relative des marais - progradation sous forme sableuse figeant la dynamique de marais à mangrove. - colmatage progressif des marais.

Turmine V (2001)

L'évolution géomorphologique, le contexte géologique et les systèmes de failles sont favorables à la présence d'importants aquifères.

Les données géologiques sont illustrées par la carte 5.

Carte 5: les données géologiques du bassin du Saloum



Légende

Légende	
!	Localité
----	Vallée temporaire
----	Vallée permanente
□	Limite du domaine d'étude
■	Cours d'eau permanents
Holocène	
Formation deltaïque	
■	Vases et sables coquilliers des slikkes, schorres et lagunes interdistributaires (non affleurants sur la carte)
Formation littorale	
□	Sables des plages et des cordons dunaires : barrières littorales (non affleurantes sur la carte)
Pléistocène/Eocène	
Formation éolienne et formation de Lam-lam	
□	Sables rubéfiés des dunes continentales ; Alternance de marnes à discocylines et de calcaires jaunes à mollusques, oursins et algues
Pléistocène/Eocène	
Formation éolienne et formation de Taïba	
□	Sables rubéfiés des dunes continentales ; Grès bioturbés et argiles kaoliniques à terriers et à mollusques ; Calcaires et marnes à nummulites ; phosphatés à l'ouest
Pléistocène/Eocène	
Formation éolienne et formation de Thiès	
□	Sables rubéfiés des dunes continentales ; argiles et marnes blanches à attapulgites et horizon phosphatés silicifiés (nonaffleurantes sur la carte)
Pléistocène/Eocène	
Formation éolienne et formation de Taïba	
□	Sables rubéfiés des dunes continentales ; calcaires et marnes à nummulites ; phosphatés à l'ouest
Miocène/Eocène	
Formation du Saloum et Formation de Lam-lam	
□	Grès bioturbés et argiles kaoliniques à terriers et à mollusques ; Alternance de marnes à discocylines et de calcaires jaunes à mollusques, oursins et algues
Miocène/Eocène	
Formation du Saloum et Formation de Taïba	
□	Grès bioturbés et argiles kaoliniques à terriers et à mollusques ; Calcaires et marnes à nummulites ; phosphatés à l'ouest
Eocène	
Formation de Taïba	
□	Calcaires et marnes à nummulites ; phosphatés à l'ouest
Eocène	
Formation de Lam-lam	
□	Alternance de marnes à discocylines et de calcaires jaunes à mollusques, oursins et algues
Eocène	
Formation de Thiès	
□	Argiles et marnes blanches à attapulgites et horizon phosphatés silicifiés (nonaffleurantes sur la carte)

1.2. La paléogéographie quaternaire

1.2.1 L'Anté Holocène

Dans la région du Sine-Saloum, se distinguent les séries quaternaires marines et continentales confirmées par Michel (1973) et soulignées par Ndoye S (2003) :

« - le Quaternaire marin qui correspond à des accumulations de coquillages (*Anadara senilis* principalement) couvre de vastes superficies. Il s'agit de dépôts de plages épais (1 à 2 m) indiquant la position du rivage à la cote +3 m.

Le Quaternaire est constitué de formations très variées. En fonction de leur mode de genèse, on peut les regrouper en trois ensembles principaux : les glacis, les cuirasses et les terrasses alluviales. Leur couverture détritique épaisse de quelques mètres, montre un dispositif étagé avec le haut glacis, le moyen glacis et la moyenne terrasse, le bas glacis et la basse terrasse ».

« Les faciès sont constitués de sables fins parfois latéritiques, de sables moyens argileux et d'argiles sableuses. Ces sables faiblement argileux sont de couleur jaunâtre dans le forage de Mbouwène Soulèye Sarr (1995) ».

Les tableaux (8 et 9) qui suivent montrent les grandes étapes du Quaternaire et l'évolution géomorphologique antéquaternaire des bassins du Sénégal et de la Gambie.

Tableau 8: La Succession des grandes étapes du Quaternaire

Etages	Dates BP	Mv Océan	Alt en m	Climats	Q Europe
Subactuel	1700		0	Fleuves Sénégal et Casamance T sec +hum Sub guinéen	
Dakarien	2000	Transgression	+2	Aride	Holocène
Tafolien	4000	Régression	-3	Semi-aride	Holocène
Nouakchottien	4200 à 5500	T	+2 à +1,5	Humide	Flandrien
Petite Phase Sèche	8000 à 6800	R	?	Sec	-
Tchadien	8000 12000 15000	Lente Remontée du Niveau marin	0 -18 -20	2ième phase D'entaille Très humide	-
Ogolien	15000 17000 20000	R	-100 à -120	Très aride	Würm Récent
	25000	R	-50	Sub aride	Pré flandrien
Inchirien II	31000 Max	T	+4	humide	-
Inchirien I	33000 Max	-			
	37000 40000	T T	+12 à +8	Première phase D'entaille	Würm Moyen
	40000 à 85000	R	?	Sub aride	Würm Récent
Aïoujien	85000 125000 145000	T T T	+20 à +40	Humide Sec	Riss Mindel
Tafarien	1Ma	T	?	Humide Sec	Gunz

(Michel, 1960, 1973) ; Pinson – Mouillot, 1980)

D'après ces tableaux N° 8 et 9, la formation du bassin sénégal-mauritanien a commencé au Jurassique supérieur par une sédimentation marine chimique suivie d'une phase sédimentaire marine détritique dans un contexte de subsidence au Néocomien.

Après cet épisode, surviennent des dépôts marins fins albiens supportant des dépôts marins détritiques durant une subsidence au Cénomanién.

Du Turonien au Maastrichtien, la sédimentation marine fine se relaie par des dépôts marins détritiques grossiers dans une alternance de transgression et de régression.

La phase transgressive continue jusqu'à l'Eocène moyen par une sédimentation chimique (silicifications). A partir de l'Eocène supérieur, se note une émergence partielle du golfe avec des dépôts lagunaires et lacustres.

Durant le Miocène, des subsidences localisées ont donné des accumulations de formations volcaniques, de sable marin et de calcaire. L'émergence est totale pendant la phase de la formation du Continental Terminal qui sera cuirassé au Pliocène. Sur ce Continental Terminal, s'intercalent des dépôts altérés de cuirasse.

Tableau 9: L'évolution géomorphologique Antéquatenaire des bassins du Sénégal et de la Gambie

AGE	Climat	Terres émergées			Golfe sénégal- mauritanien	
		Tectonique	Façonnement	Dépôt ou altération.	Niveau marin	Dépôt ou altération
T E R T I A I R E	Supérieur	humide		Relief intermédiaire et surface d'érosion	Cuirasse latéritique	
	Pliocène					Cuirasse ferrugineuse
	inférieur					
		sec	soulèvement	Erosion intense	Continental Terminal	Emersion totale
	Miocène	Assez humide		érosion	supérieur	Subsidences locales
						Formations volcaniques Calcaire + sable marin
	Oligocène	Plus sec ?	soulèvement	Surface d'érosion locale	Continental Terminal inférieur	Emersion partielle
	Eocène supérieur	humide		érosion		Dépôts lagunaires et lacustres

	Eocène moyen et inférieur	Très humide		3e surface d'aplanissement	Altération latéritique	transgression	Sédimentation chimique (silicifications)
S E C O N D A I R E	Maestrichtien	sec	Mouvements locaux	Erosion intense	Continental Intercalaire supérieur	Régression ?	Sédimentation marine détritique grossière
	Sénonien supérieur					transgression	
	Turonien	humide			Altération		Sédimentation marine fine
	Cénomannien	Sec ?	soulèvement	érosion		subsidence	Sédimentation marine détritique
	Albien	humide		2e surface d'aplanissement	Altération latéritique		Sédimentation marine fine
	Néocomien Sensu lato	Plus sec ?	soulèvement	érosion	Continental Intercalaire inférieur	subsidence	Sédimentation marine détritique
	Jurassique supérieur et moyen	humide		1er surface d'aplanissement	Altération latéritique		Sédimentation marine chimique

Michel P (1973)

Par ailleurs, l'analyse des faciès gréseux, par Diop E.S (1986) a décelé deux types :

« - un faciès sain ferrugineux compact ;

- un faciès plus altéré, à ciment argilo-ferrugineux que l'on retrouve souvent dans des puits à des profondeurs diverses entre -20 m/-30 m, comme c'est le cas sur les bordures de l'estuaire du Saloum ».

1.2.2. Le Quaternaire Récent

Le Quaternaire Récent est le principal vecteur de la mise en place du réseau hydrographique du Saloum. L'Ogolien (13000 ans -11000ans BP) correspond à une période régressive avec en particulier une intensification des actions éoliennes et une première ébauche d'alignements dunaires importants sous l'effet des alizés continentaux. Ces édifices dunaires orientés NNE-SSW sont présents de la Mauritanie au Saloum. La phase humide du Tchadien (10000 BP-6800 BP) permet la reprise de l'écoulement et la mise en place des réseaux hydrographiques du Sine, du Saloum et du Khombole (Diop E.S, 1978).

Le delta du Saloum recevait alors les épandages venus de ces principaux réseaux.

C'est une phase d'alluvionnement intense marquée par l'épaisseur des dépôts argileux comme relevés à Djirnda (49 m), Thialane (62 m) (Diop E.S, 1978, 1996). La transgression nouakchottienne constitue un des principaux facteurs qui explique l'évolution actuelle du Saloum.

A l'Holocène moyen, la mer atteint son niveau le plus élevé (1,5 à 2 m I.G.N) vers 5500 BP (op cit, 1996). Dans le Saloum, elle remonte les réseaux hydrographiques déjà constitués et favorise une sédimentation marine et un colmatage dont la terrasse de Djirnda est le témoin.

Ausseil-Badié L. et *al*, (1991) faisant la synthèse détaillée de cette évolution délimitent cinq phases géomorphologiques :

- 1- Ria postglaciaire vers 6000 BP ;
- 2-Estuaire en entonnoir de 6000 à 3500 BP
- 3-Estuaire en barres jusqu'à 2500 BP
- 4-Delta cuspidé 1990-1500 BP et 1020-600 BP
- 5-Estuaire inverse, fonctionnement actuel.

L'épisode aride survenu au cours de la période post-nouakchottienne au Subactuel marque une recrudescence de l'action éolienne principalement dans les régions littorales (Elouard, 1973).

Lors de l'Actuel, la même dynamique se produit avec une extension des vasières à mangroves, une variation de la forme des chenaux de marée par recoupement de méandres (op cit).

Sur la bordure ouest des îles, un liseré sableux s'édifie par les mêmes processus que ceux qui ont mis en place les cordons sableux. Parfois ce liseré sépare tanne et vasière à mangroves.

A l'intérieur des terres la présence des tannes témoigne de l'extension de la transgression nouakchottienne.

Durant cette période quaternaire, le delta a connu dans son évolution géomorphologique en plusieurs phases.

Diara M (1999), dans son analyse stratigraphique a détaillé les stades suivants : « l'étude stratigraphique des dépôts a permis la mise en évidence de deux formations uniformément réparties dans le delta:

- un soubassement argileux épais ;
- un ensemble d'unités superficielles.

D'un point de vue chronologique et paléo environnemental, ce partage marque deux stades dans l'évolution de la plaine deltaïque du delta du Saloum ;

- le stade de comblement de vasière ouverte sous climat humide ;
- le stade d'achèvement de ce comblement sous climat sec.

*** Le stade de vasière ouverte.**

D'après Diarra M (1999), le delta du Saloum s'est formé à partir de l'épisode humide du Tchadien au cours duquel les matériaux fluviaux fins s'épandent au nord et au sud le long du rivage antérieur marqué par les affleurements du Continental Terminal. Les vases se déposent rapidement aux embouchures respectives et dans les zones abritées en fond de golfe mais sans véritablement se mélanger. Un chenal de marée, le Diomboss, se crée alors, par défaut d'apport sédimentaire, dès le début de la formation du delta. Il est ensuite entretenu par le jeu des marées. Ce chenal matérialise la limite entre le delta du Saloum et le delta de la Gambie ».

Les dérives littorales nord/sud et sud/nord apportant des sédiments le long de la flèche de Sangomar, renforcent « les apports fluviaux nord et sud comblent, pendant toute la période humide, le fond du golfe et forment le soubassement deltaïque vaso-sableux.

Les influences marines sont signalées par les associations de foraminifères typiques de milieu ouvert. Cette phase climatique pluvieuse n'est pas continue mais coupée de périodes de rémission (Sarnthein et *al*, 1982; Duplessy et *al*, 1981) à la faveur desquels des lits sableux se forment, insuffisants toutefois pour ériger des cordons.

Les apports fluviaux s'épandent encore après le maximum de la transgression nouakchottienne et atteignent une vingtaine de mètres d'épaisseur vers 4 100 à 4500 ans B.P. (Marius, 1985 ; Diop S, 1990).

Ce sont les vases pro deltaïques sur lesquelles les autres unités vont se mettre en place suivant un schéma quelque peu différent entre le delta du nord et le delta du sud définitivement séparés par le Diomboss dont la profondeur maximale est alors de 25 m (Diara M 1999) ».

***Le stade de baie abritée.**

Il correspond à un climat sec. En effet « au Tafolien (4 000 - 2 000 ans), « les changements dans les apports sédimentaires vont déterminer la configuration future du delta du Saloum.

Les apports fluviaux fins diminuent considérablement et sont remplacés par des apports sableux amenés par les vents de Nord-nord-est depuis les ergs ogoliens du nord du Sénégal et du désert mauritanien, alors vastes réservoirs sédimentaires, et, en faible quantité, par le Sine et le Saloum devenus des estuaires inverses dominés par la marée. Des bancs d'embouchure se mettent alors en place progressivement de l'Est vers l'Ouest suivant la direction générale NE-SW du Saloum. Ces bancs sableux, remaniés par la houle du Nord réfractée autour du cap que forme alors le Continental Terminal, tendent, à s'aligner parallèlement au rivage.

Au fur et à mesure que les bancs se modèlent, des vasières s'installent en arrière, à l'abri des cordons les fixant ainsi dans leur forme quasi définitive et colmatant le pro delta (Diara M 1999) ».

Les dernières phases de formations sont constituées par des mutations plus récentes remarquables à plusieurs niveaux par la formation d'autres cordons, l'ensablement de certaines vasières et la formation et l'extension des tannes.

Cela est confirmé par Diara M (1999) qui souligne que :

- « - de petits cordons inverses se forment sous l'action réfractée de la houle (Niodior),
- des vasières intertidales et subtidales évoluent en barres de méandre par accrétion dans les chenaux ;
- le colmatage, en arrière des cordons, se continue très progressivement ;
- les vasières se dégradent au cours de l'évolution pédogénétique qui modifie les sols devenus salés et acides ;
- l'érosion continue des cordons dunaires se poursuit par déflation et parfois par le sapement des berges dans les bolongs.
- la dégradation simultanée des cordons et des vasières entraîne la formation d'une unité très superficielle mais particulièrement développée au nord ; les tannes.
- le dernier événement marquant l'évolution du delta, est la rupture de la flèche de Sangomar en février 1987, qui matérialise la diminution progressive des apports sédimentaires dans ce secteur.

Le chenal fossile, bien que réouvert, ne peut être encore actif dans la mesure où c'est un chenal aveugle barré par le delta sous-marin formé depuis l'ouverture du Lagoba sur la façade maritime de la brèche ».

1.2.3. La phase tchadienne

« Entre 20 000 et 15000 ans BP, le climat devenant très aride, se met en place le grand erg orienté NE/SW du sud de la Mauritanie jusqu'au bas plateau du Continental Terminal du Saloum ; ce sont les dunes rouges de l'Ogolien ». (Elouard P, 1959).

« - à partir de 14000 ans BP, le climat devient plus humide, mais le niveau de la mer est encore très bas (-75 m). Puis le climat devenant encore plus humide, le niveau de la mer passe de -30 m à 9500 ans, à -18 m à 8250 ans BP ». Elouard P et Faure H (1967) « les fleuves reprennent le creusement : c'est la seconde phase d'entaille correspondant au Tchadien » (Faure, Elouard, Hébrard 1977).

Selon Diop ES (1986) « les réseaux du Sine, du Saloum et de Khombole, semblent être constitués lors de la seconde phase d'entaille. Cette période correspond au pluvial Tchadien qu'on peut situer entre 13000 et 8000 ans BP.

L'humidification du climat, liée au caractère fonctionnel du réseau hydrographique, fut à l'origine de l'entaille du bas plateau du Continental Terminal de l'amont recouvert de dunes généralement rubéfiées. L'actuel delta alors zone déprimée, recevait les épandages des trois fleuves (Sine, Saloum et Khombole). Les témoins de cette phase d'épandage et les apports du Continental Terminal peuvent être mis en évidence dans les îles par des sondages profonds et des analyses sédimentologiques. Les sondages faisant état de dépôts fins d'argiles, de sable et de vase prouvent l'alluvionnement constant dans la zone déprimée du bas Saloum, en fonction de la remontée du niveau marin : 25 m d'épaisseur de sédiments à Ngadior, 49 m à Djirnda, 62 m à Thialane selon Diop S (1987)».

Cette fin de la période Tchadienne a connu une lente remontée du niveau marin à partir de

« 12000 ans BP donnant les lignes suivantes -100/-80 ; -55 à -35 ; -25 à -15 m selon les différentes phases de la remontée.

Le climat redevenait de plus en plus humide. Le niveau marin remonte sur la plate-forme continentale en même temps se produit une élévation continue des nappes côtières.

La ligne de rivage au sud de Dakar aux alentours de l'isobathe -25 à -26 m est datée de 8500 ans BP » « Ce niveau passe de -30 m à -18 m de 9500 ans BP à 8250 ans BP : la phase du Tchadien » Faure H et al (1967). Cette phase s'accompagne de précipitations accrues,

engendrant la constitution définitive du Sine Saloum et du Khombole (Sall MM et Diop E S 1976 -1977) ».

La présente figure 8 illustre les ramifications du paléo réseau du Sine/Saloum/Khombole



Figure 7: Le Paléo réseau du Sine/Saloum/Khombole

Sall MM et Diop E S (1977) échelle 1/1000000.

Enfin, entre 8000 ans BP et 6000 ans BP, c'est la rapide remontée du niveau de la mer qui passe de -20 m à la cote 0 m Institut Géographique National » Faure et *al* (1967).

Selon Pimmel A (1984) « la mer dépasse le niveau actuel vers 6500 à 6000 ans BP et atteint le niveau +1 à +1,5 m vers 5500 à 5000 ans BP. Cette transgression nouakchottienne a

généralement laissé des dépôts sableux qui forment des terrasses en bordure du plateau continental et qui subsistent parfois en îlots au milieu des alluvions plus récentes.

La sédimentation est alors essentiellement marine ».

1.2.4. L'évolution Holocène

Dans l'évolution de l'ensemble de la région, la période nouakchottienne intervient après une phase un peu plus sèche, correspondant à une modification locale des dunes rouges : l'Holocène supérieur vers « 5500 ans BP donnant le plus haut niveau +1,5 à +2 m IGN. Au maximum de la transgression, « la mer a pénétré dans les entailles des petits fleuves côtiers. Elle a envahi la vallée de Mboro, élargissant la partie aval en un petit golfe. Un golfe plus vaste s'est établi dans la dépression du lac Tanma, au niveau de Kayar. La mer arrivait alors presque au pied de la cuesta de Thiès. Dans la partie la plus étroite de la presqu'île du Cap vert, à la hauteur de Thiaroye- Pikine, la mer nouakchottienne s'est avancée dans les interdunes des cordons ogoliens aplatis. Elle a aussi isolé la presqu'île, constituée par les systèmes de Dakar et des Mamelles, mis en place au Miocène et au Quaternaire ancien selon Michel P (1973) ».

Le long de la Petite Côte, au sud de Dakar, la transgression s'est avancée en quelques petits golfes transformés en lagunes : les principaux sont ceux de Petit Mbao, de Siendou au pied du horst de Ndiass, de l'embouchure de la Somone. Elle a formé au sud-est de Mbour les lagunes ouvertes de Mbodiène et de Fadiouth (Hébrard L 1966 et 1967), (Elouard P, Faure H, » in Michel P (1973). La mer pénètre dans les zones littorales déprimées du Saloum jusqu'en amont de Birkelane (à plus de 110 km de l'embouchure) et remonte les basses vallées du Sine, de Khombole, de Gambie et de Casamance ». Le marigot de Diamal au sud de Birkelane est une relique de cette période. « Cette transgression est responsable du comblement actuel 4500 ans BP avec une sédimentation essentiellement marine jusqu' à 4500 ans BP » (Michel P, Kalck Y 1978) « relayée dans les zones les plus internes par une sédimentation de type lagunaire à partir de 4200 ans BP (Saloum et Casamance) » (Sall MM 1983). Les eaux salées s'arrêtaient à Ndoss Jaraff pour le Sine et au marigot de Diamal pour le Saloum comme en témoignent la végétation de *Tamarix senegalensis* (Mbourndou) et les fossiles que nous y avons extraits à des profondeurs de 50 cm. Ces fossiles d'*Anadara senilis*, de *Tympanotonus radula* et *Tympanotonus fuscatus* « colonisent les substratums sablo-vaseux dans les eaux salées et à des profondeurs de 1 à 1,5 m ».

Et selon Diop E S (1980) « l'apport des fleuves alors fonctionnel se réduisait aux sables fins et limons empruntés aux dépôts de couverture du bas plateau du Continental Terminal...

Ce matériel fin, brassé, est déposé sous forme de terrasses sableuses ou argileuses, très souvent associées à une faune nouakchottienne et post- nouakchottienne constituée essentiellement de :

- mollusques gastéropodes : *Bullaria adansoni*, *Marginella amygdala*, *Natica canariensis*, *Felania diaphana*, *Bulla strtia adansoni* ;
- mollusques scaphopodes: *Dentalium senegalensis*, *Dentalium conglensis*, *Dentalium katchekense*;
- mollusques lamellibranches: *Cardium ringens*, *Pitaria floridella*, *Anadaras senilis*, *Macoma cumana*, *Lorises lacteus*, *Tellina nymphalis*, *Arca gambiensis*, *Tellina posteli*.....

La terrasse de Djirnda datée de 5528 ans BP $\pm$ 150 ans, relève de cet alluvionnement ancien.

Les différentes étapes du retrait à partir du maximum nouakchottien ont été jalonnées de cordons littoraux successifs dont l'édification représente les mécanismes de progradation qui ont participé au colmatage des golfes nouakchottiens. Cette phase est datée de 4000 ans BP ». Les dérives littorales ont été très actives dans la mise en place des cordons sableux dont beaucoup sont couverts de minces lamines de minéraux lourds. Enfin « l'adjonction de cordons sableux minces et discontinus et le comblement des lagunes inter cordons sont à l'origine de la formation des îles, des groupes d'îles et des estuaires » (Diop E S et Sall MM 1986).

« Entre 4000 et 2000 ans BP, le climat devient plus sec avec une légère régression

(-2 m à - 3 m) qui semble se placer autour de 4000 ans BP, C'est le Tafolien ».

(Hébrard L 1972). Le retour au niveau actuel s'effectue par une série de pulsations : « à partir de 3000 ans BP, le niveau de la mer passerait, à +2m (Pimmel A 1984) ». « Des cordons sableux s'édifient progressivement dans les golfes nouakchottiens ; un développement en lagune s'effectue parallèlement avec des dépôts de vases épaisses, de couleur grise ou noire plus ou moins argileuse qui colmatent petit à petit les milieux estuariens. Ces conditions sont favorables au développement intense de la mangrove. C'est aussi la période de mise en place de la flèche de Sangomar et de l'île aux oiseaux par une mer Dakarienne agitée par de fortes houles permettant le dépôt de minéraux lourds » (Diop E S et Sall MM 1986). C'est aussi l'époque de la formation des vasières à mangrove transformées aujourd'hui en tannes nus.

La limite orientale de cette mangrove est la latitude du village de Keur Aladji Kharendère 14°05N/15°55W, pour preuve, les coquilles de *Crassostrea gasar*, y ont été extraits à 40 cm de profondeur.

1.2.5. L'évolution au Subactuel et à l'Actuel

« Le comblement des bas estuaires subsiste en même temps que des phénomènes de subsidence se manifestent sur les côtes et parallèlement se mettent en place des unités géomorphologiques :

- des vasières à mangrove ;
- des tannes herbus et cordons sableux (cordons de Fandiong et de Diofandor Est) ;
- des tannes nus et accumulation de sables éoliens associés parfois à des amas artificiels de coquilles ou "Kjokkenmoddinger" (Diop E S et Sall MM 1986) ».

L'évolution climatique induite par une sécheresse accrue aboutit à la dernière transformation importante du paysage avec l'apparition du faciès tanne à l'arrière des mangroves » selon

Rognon P (1976) et Kalck Y (1978). Selon A T Diaw (1997) aucune carte de la rivière du Saloum n'a été faite avant 1856. Mais les cartes coloniales conçues pour des motifs administratifs et/ou économiques, ont fourni de précieux indices dans la reconstitution du Saloum ». Et Mbaye M B (1990) précise que « l'Avisso à vapeur, le Dalmath a reçu l'ordre de remonter à Kaolack (14°08 N/16°05 W) et de dresser à la boussole un croquis qui faciliterait la navigation tout en jetant les jalons de la cartographie future de la rivière ».

Enfin, Diaw A T (1997) souligne que « le lieutenant de vaisseau E Mage situe en 1863 le Saloum à 18°48 latitude Nord et à 19°08 de longitude Ouest. Même avant les cartes de 1838, le Saloum était séparé en deux branches à 60 km de l'embouchure et se dirigeait vers l'est ; le Sine remontait vers le Nord et passait à moins de 4 km de Diakhao, port qui n'est plus atteint par le réseau. Le Khombole au Nord-ouest du Sine, était très ramifié et parcourait une bonne partie de la région du Baol jusqu'en amont de Ndoulo ». Mais du 19ème au 20ème siècle, la péjoration climatique liée aux changements globaux a entraîné une évolution régressive des milieux estuariens et des régions de bordures. De ce fait, le "Khombole" est devenu vallée fossile ne figurant plus sur les cartes. Les eaux salées du Sine se sont retirées de Ndoss Jaraff pour s'accumuler au sud de Tanno Mak à Ndiémou à quelques 5 km au nord de Fatick ;

Les eaux salées du Saloum s'arrêtent à Nguer, au sud de Keur Mboucki, et la marée annuelle remplit le marigot de Diamal au sud de Birkelane.

En résumé et selon Diop E S (1980), « l'influence alternative des apports de sédiments marins et fluviaux, des climats arides et humides, ainsi que l'impact humain récent ont modifié sans cesse ce paysage jusqu'à aujourd'hui.

Ses travaux de 1987 soulignent les repères suivants :

- 30 000 ans BP *Phase de creusement "Aridification ;
- 21 000 ans BP "Constitution du grand erg Ogolien NE-SW ;

*Régression marine

- 13 000 *Phase humide et de creusement ;

*Formation des réseaux du Sine, Saloum, Khombole ;

- 8 000 *Apports fluviodeltaïques des 3 fleuves ;
 - 5500 *Maximum de la transgression et les apports des 3 fleuves limités et se forment des terrasses alluviales ;
 - 4000 "Retrait de la mer- Formation de cordons littoraux successifs + comblement des lagunes, formation des îles du Saloum, édification de la pointe de Sangomar
- "Dépôts marins prédominant de plus en plus vers l'ouest et "édification des amas et tumulus coquilliers
- 2000 *Comblement du bas Saloum
 - 1000 *2 tendances -progression des vasières à mangrove aux dépens des tannes ;
 - recul de certaines vasières lié au défrichement de la mangrove et à l'assèchement du climat».

En somme, beaucoup de formations géologiques sont représentées dans le Saloum, mais le soubassement du domaine insulaire est constitué par le CT sablo-argileux recouvert par les dunes Ogoliennes dans un faciès de plaine sableuse. Tous les aquifères sont exploités mais à des profondeurs et des salinités diverses.

Dans l'ensemble des îles et dans les régions de bordures, aucun puits d'eau douce n'est rencontré. La salinité, mais surtout la profondeur sont le problème d'accès à l'eau. C'est l'un des principaux problèmes des populations qui ont habité cet écosystème insulaire depuis des millénaires.

Conclusion.

Les données géologiques et paléogéographiques, ont révélé que la région a subi plusieurs types de changement depuis sa formation dans le bassin Secondaire et Tertiaire, jusqu'à la situation actuelle. Cette dynamique historique dont les causes sont multiples (climatiques et

eustatiques), est responsable de l'état actuel de l'environnement dans l'estuaire et de ses régions de bordures.

Chapitre 2 : les ressources en eaux

Introduction

2.1. La nappe du Continental Terminal

2.2. La nappe quaternaire

2.3. Les eaux de surface

Conclusion

Introduction

Nos commentaires et analyses ont pour bases les nombreuses études faites par des spécialistes dans le domaine de l'hydrogéologie en général et dans les îles du Saloum en particulier :

Le Priol et Dieng (1985), Diop E.S (1986), Travi (1993), le Ministère de l'hydraulique (1994), Sarr (1995), Diaw A.T (1997) et Ndoye S (2003).

Au point de vue stratigraphique, le rapport du Ministère de l'Hydraulique (1994), caractérise le Sénégal « par deux grands ensembles géologiques et structuraux :

- le bouclier africain ou socle constitué de formations volcaniques et métamorphiques complexes qui occupent moins de 1/5 du territoire et sont localisées à la pointe orientale du Sénégal ;
- le vaste bassin sédimentaire côtier sénégal-mauritanien constitué de couches d'épaisseur variable alternant sables, grés, calcaires et marno-calcaires qui se sont déposés depuis la fin du Secondaire (Maestrichtien) jusqu'au Quaternaire et qui ont été affectées par différentes phases tectoniques ayant abouti à une structure faillée en marches d'escaliers ou en gradins et en horst et grabens le long desquels des remontées de produits volcaniques (dolérites, basaltes,...) se sont parfois produites ».

Dans ces ensembles, le même rapport distingue en effet deux grands types d'aquifères:

- « - les aquifères de type fissuré discontinu à semi-continus du socle, circulant dans les fissures et fractures des roches et/ou dans les artères de leur frange altérée et présentant des potentiels exploitables limités et difficiles à trouver ;
- les aquifères généralisés de type intergranulaire des formations sédimentaires perméables dont les potentiels exploitables dépendent des caractéristiques de ces formations, mais sont généralement élevés compte tenu de leur grande extension ».

Ces deux grands types sont subdivisés à leur tour en plusieurs unités réparties en 4 grands systèmes aquifères correspondant aux formations géologiques selon la Direction de l'Hydraulique Rurale (DHR) :

«- le système aquifère superficiel qui regroupe les formations à dominante sablo-argileuse du Quaternaire (QT, du Continental Terminal (CT) et de l'Oligo-miocène (OM) ;

- le système aquifère intermédiaire qui regroupe les formations essentiellement calcaires, Karstiques par endroits, et marnocalcaires de l'Eocène et du Paléocène;

- Le système aquifère profond qui concerne la seule formation des sables du Maestrichtien;

Toujours selon ce rapport, « le système aquifère superficiel regroupe les formations gréseuses, sableuses et sablo-argileuses et quelquefois graveleuses du Quaternaire, du Continental Terminal et de l'Oligo-miocène.

Prises dans leur ensemble, ces formations ont, selon les zones, une épaisseur variable qui peut aller d'une vingtaine de mètres sur l'axe Mbour-Dagana et dans la vallée du fleuve Sénégal jusqu'à 175 mètres dans la région de Tambacounda, l'épaisseur moyenne se situant aux environs de 60 m.

Parmi ces aquifères, nous présentons ceux du Continent Terminal (CT) et du Quaternaire (QT).

Selon le rapport de la Direction de l'Hydraulique Rurale de 1994, le Quaternaire (QT) est constitué essentiellement des trois unités aquifères du littoral nord : aquifère libre des sables dunaires), de la presqu'île du Cap Vert (aquifère captif des sables infra basaltiques) et de la cuvette lacustre de Thiaroye (aquifère libre sableux).

Le littoral nord recèle d'importantes réserves qui sont en continuité avec la nappe des formations sableuses et grés-argileuses du Continent Terminal sous-jacent. Les deux autres aquifères, peu étendus, ont des réserves plus limitées.

Le Continent Terminal (CT) est constitué de formations à dominante sableuse et argilo-sableuse, mais avec des variations latérales et verticales de faciès qui sont très fréquentes, notamment avec des passées de grès à canalicules plus ou moins argileux et des niveaux latéritiques perméables ». Les formations du CT constituent le soubassement de la région du Sine Saloum.

Du point de vue profondeur, les cartes piézométriques montrent clairement que le système aquifère superficiel constitue au nord de la Gambie, un aquifère fermé formant une dépression piézométrique qu'on appelle communément « nappe en creux » centrée sur le Ferlo DHR(1994) ».

2.1. La nappe du Continental Terminal

« Le Continental Terminal couvre la quasi-totalité du bassin sédimentaire. Elle sert dans les usages des villageois. Sa potentialité est évaluée à 450 000 m³ par jour In HOME 2008 ».

Sa surface dans le Saloum est de « 7800 km² » (Ndoye S; 2003) et selon le Plan Régional de Développement Intégré (P.R.D.I) de Fatick (2001) « cette formation aquifère se retrouve dans toute la zone frontalière avec la Gambie, correspondant à l'Arrondissement de Toubacouta ».

La profondeur dans les sables varie entre 30 m et 70 m, avec des débits pouvant atteindre 75 m³/h. Certaines nappes peuvent être atteintes par des puits hydrauliques. Plusieurs puits ont plus de cent ans, comme ceux de Ndoffane et de Diaglé creusés en 1914.

2.2. La nappe quaternaire.

D'après HOME (2008) « les nappes des sables du Quaternaire se trouvent dans les alluvions du fleuve Sénégal, dans les sables du littoral nord, de Dakar à Saint-Louis, dans les sables infrabasaltiques de la presqu'île du Cap-Vert et dans les lentilles d'eau douce des îles du Saloum et de la Basse Casamance. Les potentialités s'élèvent à 273 000 m³ ».

Ces nappes sont atteintes par des puits creusés dans les sables et limons des bas-fonds à faible profondeur 3 à 4 m selon les secteurs. Ces puits sont rencontrés dans plusieurs villages comme le montre le tableau N° 19 ci-dessous qui fait constater que la nappe est profonde dans toutes les îles et dans certains villages riverains des bolongs ; tandis que sur le continent, certaines profondeurs dépassent les 15 m. Mais dans tous les cas, l'eau est saumâtre.

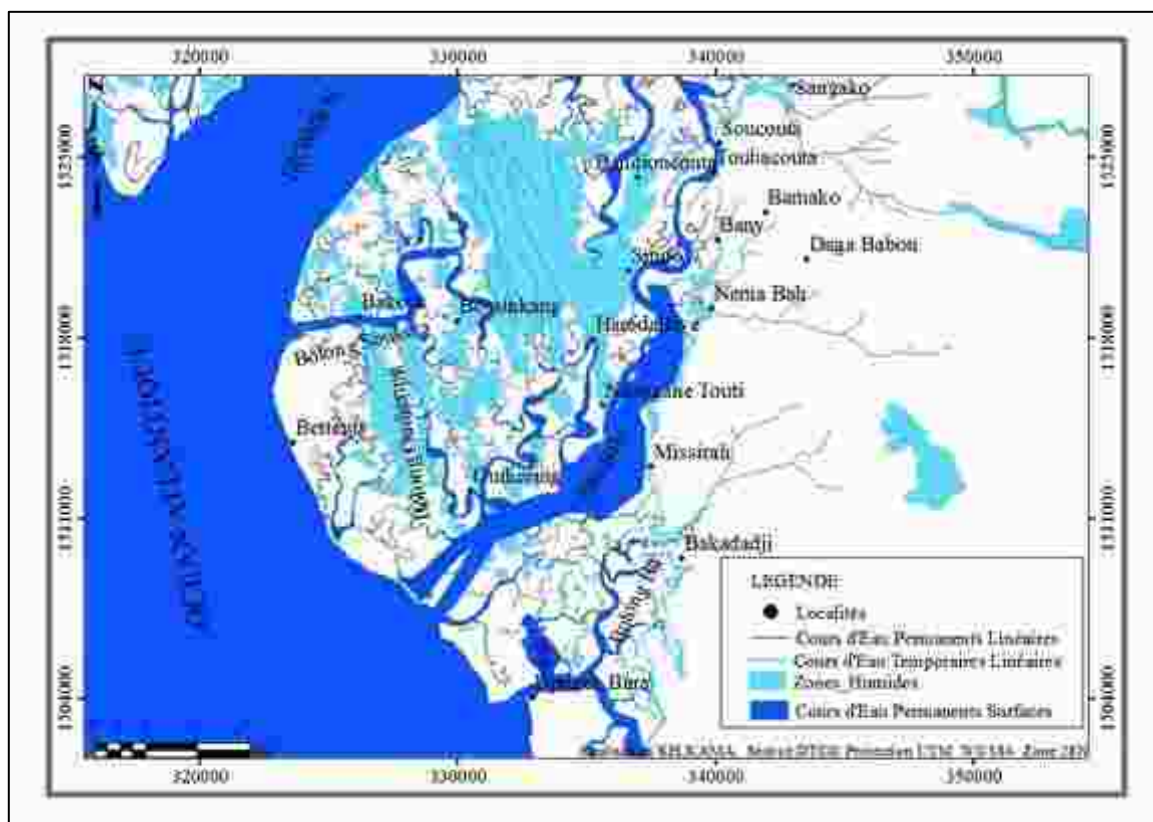
D'après nos enquêtes plus 20 puits ont été fermés dans l'île de Moundé. Dans les îles du Gandoul aucune eau de puits n'est consommable (tabl 10) et (cartes 8, 9, 10,11).

Tableau 10: échantillon quelques villages où sont rencontrés des puits d'eau saumâtre

villages	Latitude N	Longitude W	Profondeur du puits.
Diakhanor	13°58'060''N	16°45'476''W	5 à 6 m
Bétenti	13°40'924''N	16°38'240''W	3 à 4 m
Sokone	13°52'292''N	16°23'098''W	5 à 6 m
Djinack	13°36'165''N	16°32'547''W	3 à 4 m
Missirah	13°39'847''N	16°35'472''W	9 m (3puits)
Toubacouta	13°49'924''N	16°29'270''W	10 à 11 m
Fayako	14°11'866''N	16°25'226''W	6 à 8 m
Ndiémou	14°22'527''N	16°21'716''W	10 m
Sangako	13°48'55''N	16°27'09''W	20 à 30 m
Faoye	14°13'34''N	16°34'36''W	6 à 7 m
Fayil	14°17'12''N	16°29'01''W	5 à 6 m
Mbélane	14°02'930''N	16°26'555''W	14 à 15 m
Sadioga	14°02'740''N	16°22'992''W	10 à 12 m
Félane	14°05'099''N	16°28'209''W	12 à 13 m
Aga Birame	14°21'130''N	16°46'052''W	8 à 15 m
Foua I	14°20'066''N	16°43'737''W	23 à 30 m
Samba dia	14°07'862''N	16°43'648''W	6 à 7 m
Fimela	14°08'055''N	16°39'412''W	5 à 6 m
Mbellongouthé	14°22'602''N	16°38'550''W	3 à 4 m
Diouroup	14°22'102''N	16°31'389''W	8 à 10 m
Ndiandiaye sérère	13°58'968''N	16°21'323''W	7 à 8 m
Ndorong sérère	13°59'656''N	16°20'497''W	7 à 11m
Djilor Saloum	14°03'361''N	16°20'269''W	4 à 7 m
Sassara	14°12'079''N	16°16'591''W	10 à 12 m
Diaglé	14°04'700''N	15°27'639''W	38 à 45 m
Wandé	14°11'960''N	15°24'289''W	30 à 35 m
Djanké Souf	14°13'843''N	15°20'171''W	34 à 50 m
Paffa	14°14'332''N	15°05'134''W	35 à 55 m
Koutal sérère	14°04'703''N	16°04'340''W	15 à 17 m
Daga Beira	14°49'710''N	16°22'856''W	6 à 10 m

Keur Sambel	14°49'702''N	16°23'659''W	10 m
Néma bah	13°44'336''N	16°28'772''W	7 à 10 m
Saboya	13°43'926''N	16°25'30''W	10 à 15 m
Dielmon	13°43'400''N	16°24'560''W	7 à 10 m
Samé	13°37'712''N	16°25'810''W	10 à 24 m
Ndiob	14°33'56''N	16°15'28''W	25 m
Ndiélem Soup	14°25'07''N	16°19'14''W	20 m
Ndoss Jaraff	14°25'12''N	16°21'29''W	13 m

Carte 6: échantillons de villages avec puits d'eau saumâtre



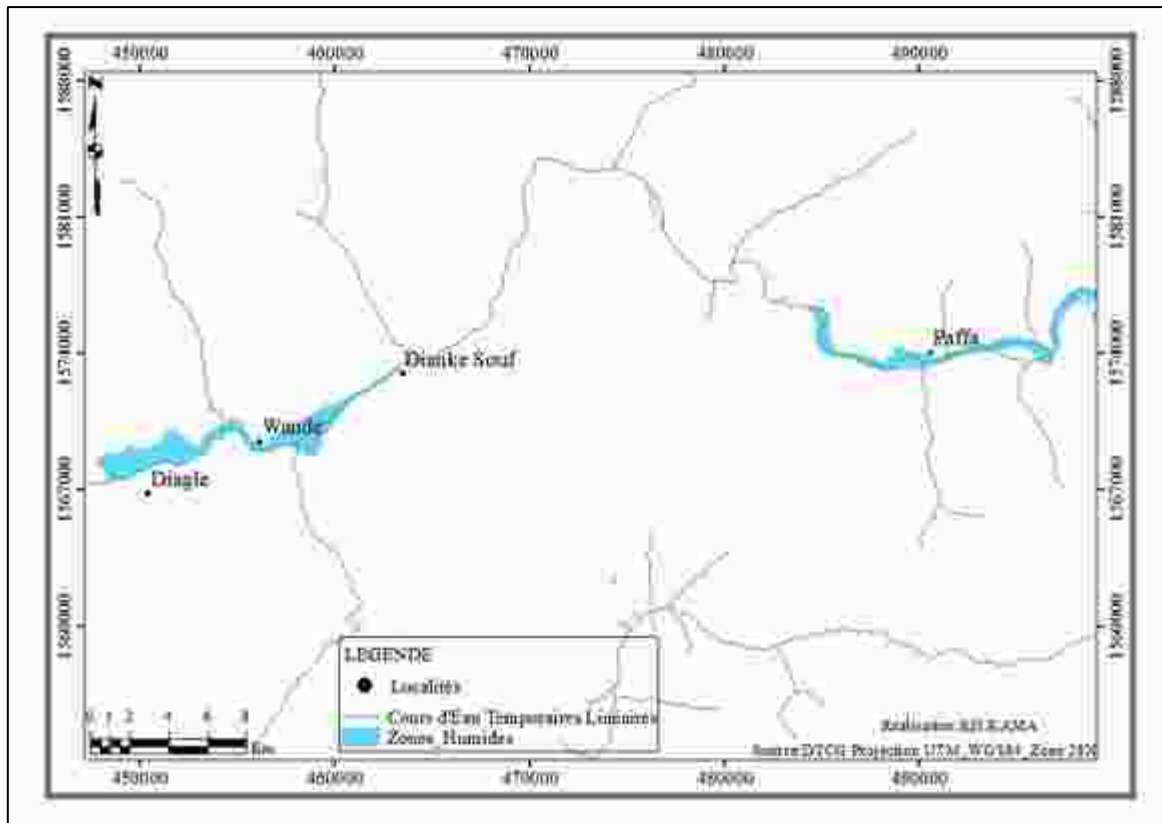
[illegible]

La carte hydrographique de la zone d'étude à l'est de Niamey, Niger, présente un réseau complexe de cours d'eau. Les zones humides sont représentées en vert, et les milieux en jaune. Les localités étudiées sont marquées par des points noirs. La carte est encadrée par des coordonnées géographiques (latitude et longitude) et une échelle de 0 à 100 km.

LEGENDE

- Localités
- Cours d'Eau Permanents Linéaires
- Cours d'Eau Temporaires Linéaires
- Zones Humides
- Cours d'Eau Permanents Surface
- Milieu

Carte 9: échantillons de villages avec puits d'eau douce



2.3. Les eaux de surface

2.3.1. Les eaux salées (cartes 12, 13, 14, 15, 16, 17)

Les différents villages insulaires sont reliés par un réseau interne de lignes appelées ‘ Kal’.

Les principaux Kal desservent les localités suivantes :

Thialane: Kal Bhayasso, Kal Bhandiaye, Kal Ngatoss, Diouborane, Siromag, Kal Bassoul, Kal lhokwane;

Bassoul : A Maybakhalou, Kal Gouk, Dama Bhadioupame, Kal Bhakhalou, Kal Bhabong, Kal Diogaye Bhaskounto, A Kountoulé, Dioudiounlé;

Diogane- Dionewar: kala Bakolé, Kal I Diagnak, Diandoufe, Kal Fandoung, kalalé Mbiné, Kal Diouré, Sarelé Mbiné

Siwo: Kal Koté, Kal Bhakhalé, Kal O Dioumb, Kal Fanoh, Kal Diakhoh;

Bassar : Kal Guidiw, Kal i Fitlé, Kal O Dioum Sobel, Kal Ganki, Kal Bhantanto, Nap Hama Diassé Niombo – Diogaye, Kal Bhaboung, Koukou, Kal Guira Badoudou, Ndangane Poulké;

Fambine : Passe Sandé Sand, Diourpé;

Baouth: Fadinko, kalo Soum, Kal Bhadior;

Diamniadio : Gnassoum,

Moundé : kala Moundé;

Rofangué : mouye- mouye ;

Fayako : Ngokhor;

Félir - Fandiong, Kal Féfir, Dadia Balhadji, Ndolet, Passe Ndinde, I Wal, I Gnouss, Diafissa, Gnagnadé;

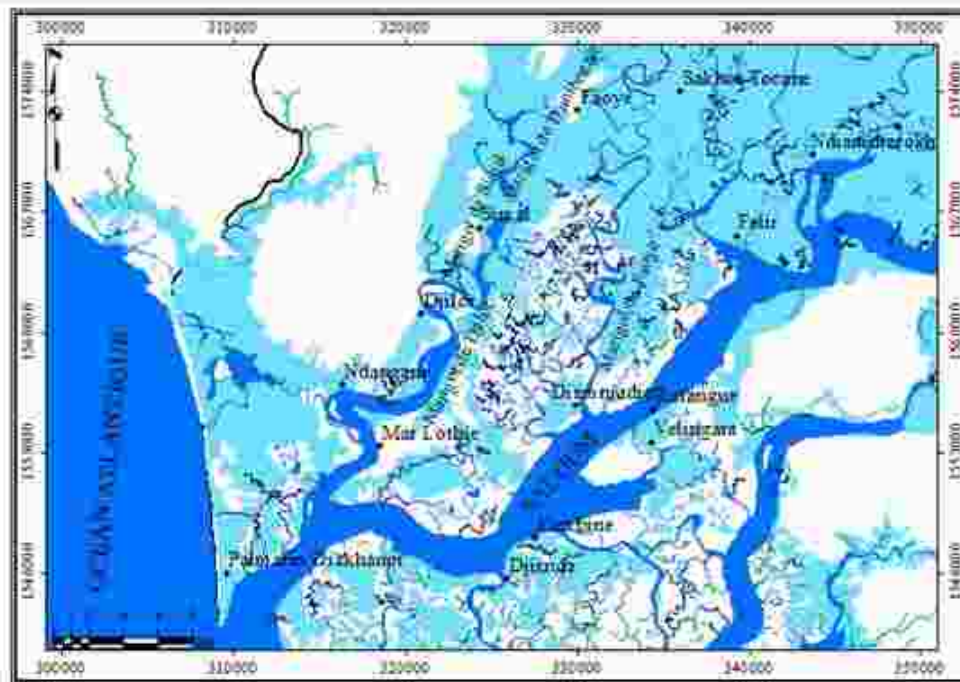
Dionewar- Niodior : Pointe de Sangomar, Sankoham, Passe Guimsam, Fandiong, Ngokhor, Don Dionewar;

Falia - Diomboss, Sanghan, Diakarouwé, Nap Abdou, Yongué, Mbakné, Lhokane.

« Les principales rivières y sont le Djikoye, situé à l'extrême Sud-ouest de la Néma avec respectivement des débits de base de 200 à 400 l/s et de 150 l/s. Les autres marigots (Sangako surtout) sont réduits à un réseau de mares en hivernage. La forêt de Fathala (située à l'extrême sud de la commune), abrite un important réseau hydrographique composé de vallées et de mares. Ces principales vallées sont : le Mansarinko, le Saladinghoto, le Badinghoto et le Fathala. La mare du dragon ou Mina, est la principale retenue d'eau dans cette forêt.

Les eaux de surface salées existent aussi en abondance car la commune est occupée, dans toute sa partie occidentale, par un réseau de bolongs résultant des bras de mer du Diomboss et surtout du Bandiala (MEPN-DPN, 1999) ».

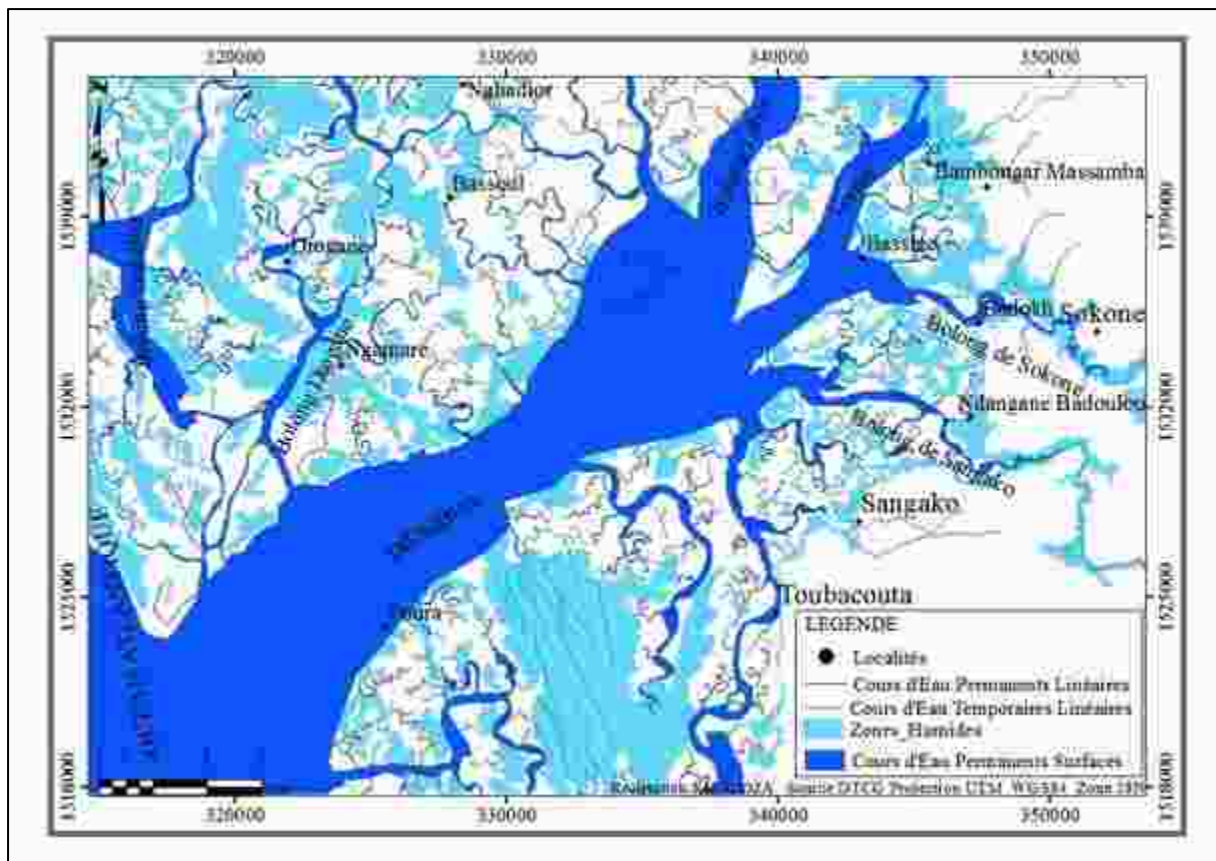
Carte 10: Réseau hydrographique saumâtre.



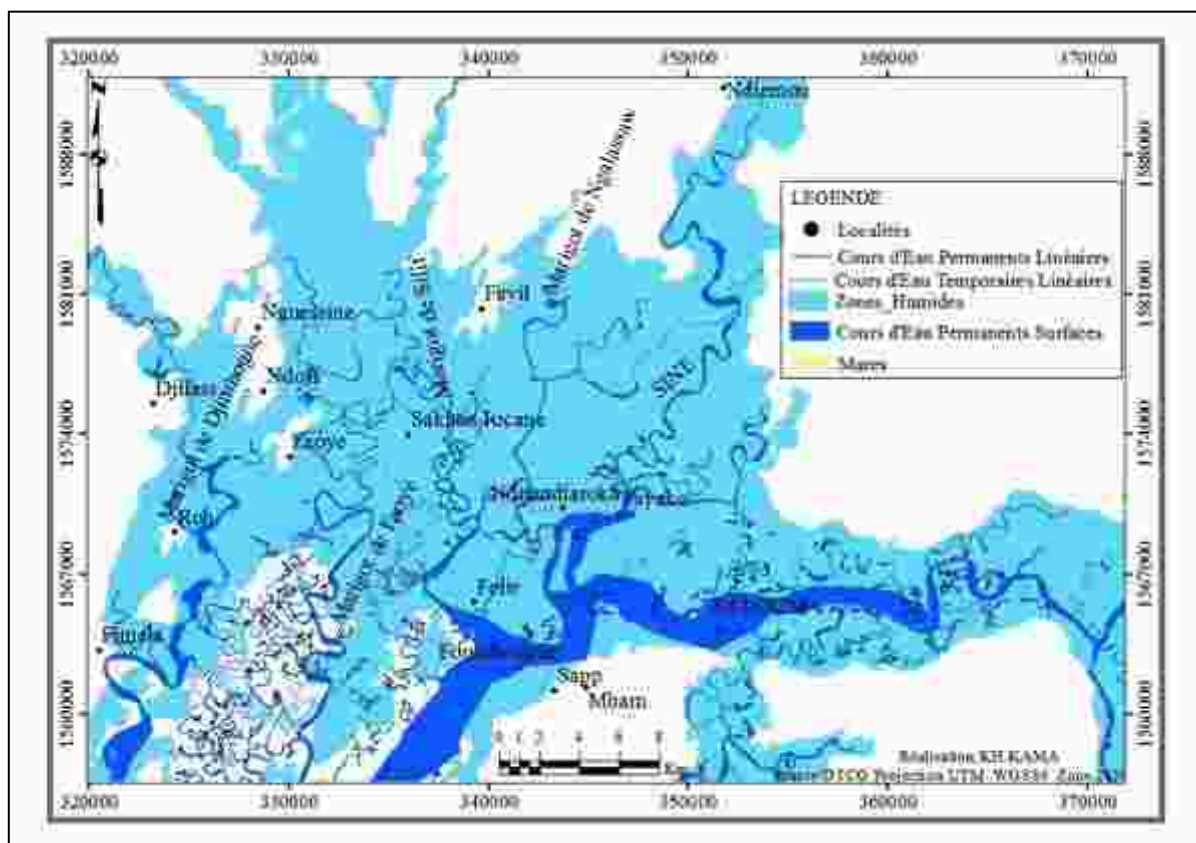
LEGENDE

- Localités
- Cours d'Eau Permanents Linéaires
- Cours d'Eau Temporaires Linéaires
- Zones Humides
- Cours d'Eau Permanents Surfaces

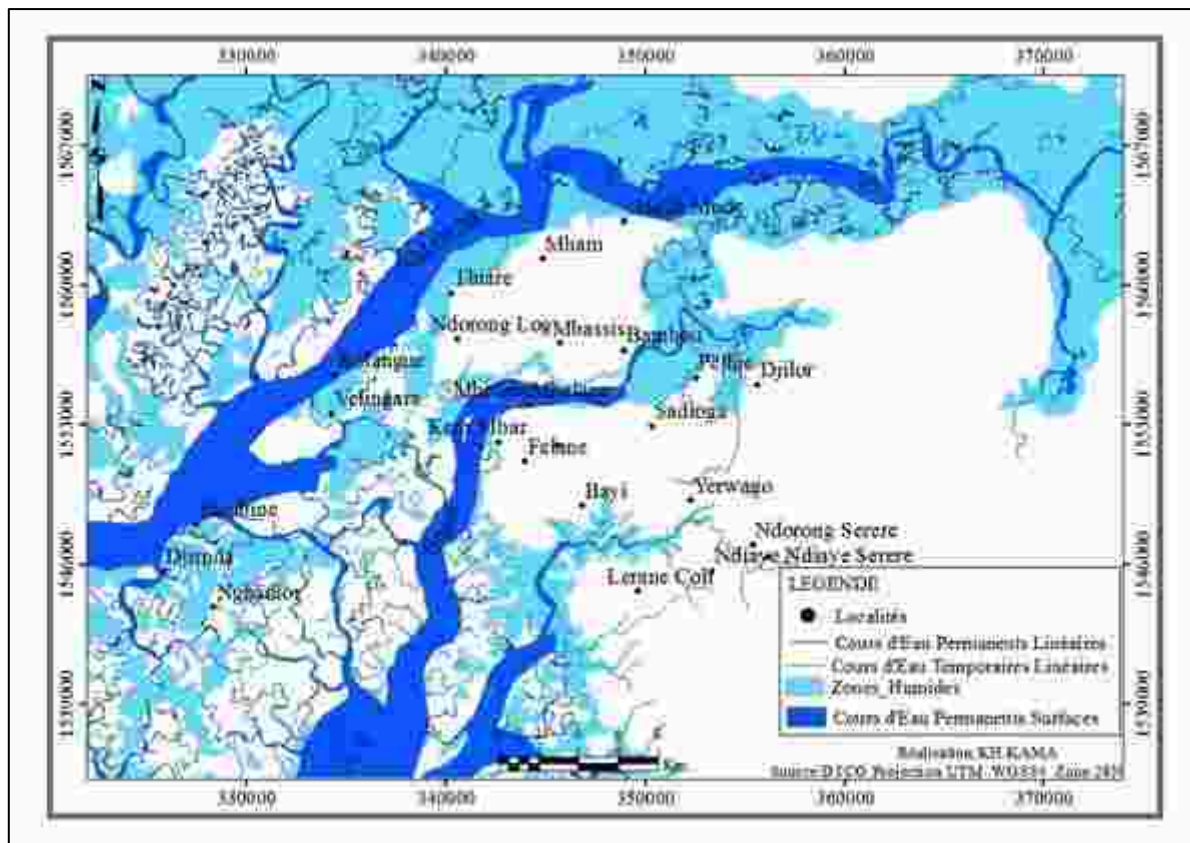
Carte 12: Réseau hydrographique saumâtre



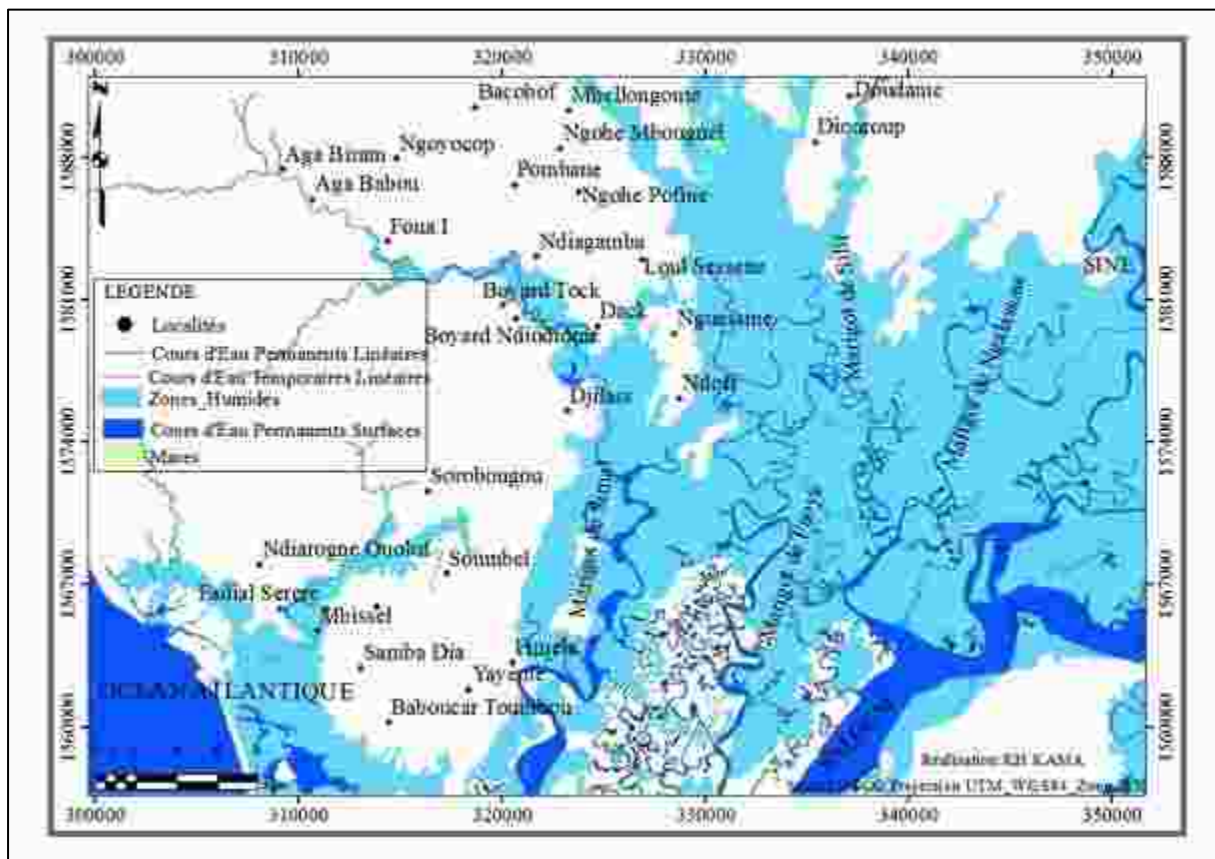
Carte 13: Réseau hydrographique saumâtre.



Carte 14: Réseau hydrographique saumâtre.



Carte 15: Réseau hydrographique saumâtre.



2.3.2. Les eaux douces.

A ces connections, (tabl 11) s'ajoute un réseau diversifié de marigots débouchant dans le Saloum : le Latmingué, le Tyikat Diéri, le Tawa, le Bil, le Nema, le Senghor, le Ndiosmone, le Foua, le Faoye et le Djas. Ce Djas relie Ndangane à l'île de Diat, ce qui fait de la CR de Palmarin une grande île.

Les autres cours d'eaux constituent les vallées fossiles descendant tous du bas plateau du CT pour déboucher dans le Saloum ou dans le Sine.

Le marigot de Silif continue jusqu'à Loukougou 14°20'N/16°61'W ; celui de Faoye jusqu'à Loul Sessène 14°18'N/16°35'W et par des vallées fossiles dont l'une atteint Tattaguine 14°27'N/16°38'W et l'autre arrose Yaboyabo 14°26'N/16°39'W en passant par Ndiosmone 14°24'N/16°40'W.

Le marigot de Simal passe par Djilass 14°15'N/16°38'W et par une succession de vallées fossiles, arrive à Aga Biram 14°21'N/16°46'W.

La ligne principale du Sine comporte une vallée fossile de l'ouest de Nibane 14°56'N/15°39'W jusqu'à Fatick. De Nibane, elle se dirige vers l'ouest de Sadio 14°47'N/15°32'W et traverse Banane 14°45'N/15°35'W, Nguer 14°43'N/15°39'W, Diayene 14°43'N/15°57'W et après une boucle vers le nord, elle atteint Diourbel 14°39'N/16°14'W, de là, elle se dirige vers la forêt de Mahécor après avoir rejoint les eaux salées à Ndoss Jaraff et cette ligne principale continue jusqu'à Fatick.

Plusieurs bas-fonds sont rattachés à cette vallée fossile :

Le premier orienté vers l'ouest à partir de Gapas 14°37'N/16°02'W passe entre Ngolomoune 14°36'N/16°08'W et Loumbel Saye 14°35'N/16°03'W et se jette dans la vallée principale au point 14°35'N/16°14'W à l'est de Keur Gane 14°35'N/16°21'W.

Le deuxième affluent prend naissance au Nord-est de Khelkome 14°35'N/15°24'W, se dirige vers l'ouest passe au sud de Keur Massila 14°36'N/15°38'W, remonte au Nord par Sagari 14°38'N/15°44'W et regagne la ligne principale au nord ; au point 14°41'N/15°43'W.

Ce deuxième affluent a un sous bas-fond d'orientation sud/nord à partir de l'est du village de Boye Gnibi 14°26'N/15°37'W et rencontre le second affluent au point 14°34'N/15°35'W au Sud-est de Keur Massila.

Le troisième bas-fond orienté Sud-est/Nord-ouest, capte la vallée principale à Banane 14°45'N/15°35'W.

Le dernier bas-fond quitte Guerlé ouolof 14°49'N/15°26'W à l'est, arrose Sadio 14°47'N/15°32'W et rejoint au point 14°47'N/15°33'W la ligne principale.

La vallée fossile du Saloum 412 km, dépasse la latitude de Bankou Dinka (14°21'N/14°04'W) au Nord - est, comprend une ligne principale d'orientation Est - ouest, quatre lignes secondaires Nord/Sud et huit lignes sud/nord :

De Bankou Dinka, elle traverse les localités suivantes : Saré Lagny, Rehahi, Nayon Diam Poulou, Darou Boutros, Mana, Ribot escale, Ribot Moussa, Kounkoun, Dioulmake Diabel, Thioyène, Nguenth Paté, Tag Gueye, Bourdiéguel, Paffa, Goubi, Bané Levé, Dioté Sayane, Dioté kel Birame, Dianké Souf, Babanèm, Ouandé, Diaglè, Kaffrine 14°06'N/15°33'W Tounn, Niti Tag, Diassoum et rejoint les eaux salées au marigot de Diamal 14°07'N/15°52'W, entre Diamal et Birkelane.

La ligne vers l'est de Touba Salam 14°17'N/15°30'W : 7 km jusqu'à Ouandé 14°11'N/15°25'W.

Le segment au sud de Lanel 14°21'N/15°23'W relie Dianké kaw 14°16'N/15°23'W à Bodé 14°18'N/15°23'W s'arrête à Dianké Souf 14°14'N/15°21'W.

Le troisième affluent est originaire de Mbabane 14°N/15°15'W, passe à l'ouest de Ndioum Nguenth 14°N/15°12'W et se jette dans la ligne principale au Sud de Darou Bané 14°19'N/15°15'W.

Le quatrième affluent provient de l'ouest de Patakour 14°42'N/14°51'W, après un lobe de méandre vers l'est, il passe entre Niou Nayerou 14°36'N/14°51'W, et Sidak 14°36'N/14°53'W et rejoint un autre segment traversant l'Ouest de Keur Ndamé 14°34'N/14°55'W, puis un second cours d'eau Nord-sud à partir du Nord-ouest de Ndiodory 14°37'N/14°58'W ; les deux continuent et se jettent dans le marigot de Mbabane au sud de Ndioum Nguenth.

A partir de Mboundou Mbaba, 14°36'N/14°37'W, un cours d'eau bifurque vers le nord Tionok Diabi 14°40'N/14°40'W et arrive à Tionok Sangué 14°38'N/14°44'W et rejoint le quatrième affluent au Nord-ouest de Diaorel 14°35'N/14°51'W.

Le cinquième segment descend du Nord-ouest de Keur Boubou 14°27'N/14°33'W et se verse dans la ligne principale à Nayon Diam Poulou 14°26'N/14°33'W.

*Les affluents débouchant dans la ligne principale à partir du sud sont plus nombreux et comprennent :

- une vallée à l'est de Keur Mbeikon 14°01'N/15°43'W, passe entre Keur Modou 14°04'N/15°39'W et rejoint le fleuve au sud de Kadaodao 14°08'N/15°39'W ;
- la ligne Benntigui 14°03'N/15°24'W Sanian 14°06'N/15°22'W passe entre Tobéne et Lagué, se jette dans la vallée fossile de l'ouest d'Ouandé 14°12'N/15°25'W après 20 km ;

- le segment Diamdian 14°09'N/15°17'W Sioual 14°09'N/15°19'W continue par Gnaba 14°11'N/15°18'W, par l'Est Bangaré 14°12'n/15°21'w rejoint la vallée à Dianké Souf 14°14'N/15°21'W ;
- la vallée à l'est de Gnaba, passe à l'est de Gadiaga 14°14'N/15°10'W et rejoint à 7 km la ligne principale à l'ouest de Paffa 14°14'N/15°21'W ;
- la ligne au départ Est de Boussoura 14°09'N/14°58'W, dessine un lobe de méandres à l'ouest de Tiobé 14°12'N/14°59'W, traverse Bourdiéguel 14°15'N/15°01'W et arrive dans le bas- fond à l'ouest de Tag Gueye : 14°16'N / 15°00'W ;
- la ligne Ngouye Diéri 14°12'N/14°53'W / Nguenth Paté 14°16'N/14°55'W arrose Ndiolrhos 14°13'N/14°54'W ;
- au départ Sud Fontayel 14°15'N/14°38'W, une vallée traverse Koura Tiobéri 14°12'N/14°43'W, passe par l'ouest de Lour escale 14°13'N/14°44'W et continue par Touba Tiarène 14°17'N/14°48'W et arrive au fleuve à l'est de Médina (5 km) à l'Est de Sambène 14°19'N/14°54'W ;
- à partir de l'Ouest de Loumbol Alsseck 14°19'N/14°30'W, l'affluent décrit un méandre vers le Sud et remonte à Koukouyel 14°19'N/14°35'W et se jette dans la vallée principale à Mana 14°22'N/14°38' W.
- enfin, au départ du point 14°16'N/14°19'W, le dernier affluent rejoint la vallée aux coordonnées 14°21'N/14°16'W à l'est de Saré Lagny 14°24'N/14°21'W.

Selon Diara M (1999) « le Bandiala, comme le Diomboss, s'infléchit vers le sud mais l'embouchure du Bandiala est très étroite et, de plus, protégée par les îles aux Oiseaux et aux Bœufs. Son évolution morphologique est rapide. Sur sa rive gauche, des cordons sableux, se développent rapidement et ils se sont allongés de plus de 600 m entre 1954 et 1989 ».

A ces deux principales lignes, s'ajoute une vallée fossile consignée dans les tableaux 11 et 12 par Manga AV (2013), 11 et 12 et la carte 16.

Tableau 11: Longueurs de quelques rivières

Bassins	Rivières	Longueurs	Pente
Saloum	Latmingué	12 km	$1,6.10^{-3}$
	Tyikat Diéri	15 km	$1,3.10^{-3}$
	Tawa	36 km	$5,5.10^{-3}$
	Bil	40 km	5.10^{-3}
Rivières côtières	Néma	10 km	3.10^{-3}
	Senghor	20 km	6.10^{-3}
	Sokone	26 km	7.10^{-4}

(G. Diluga 1975)

Tableau 12: Caractéristiques hydrographiques du bassin versant du Sine-Saloum

Cours d'eau	Source	Longueur
Carcar	Plateau de Kébémér (département de Kébémér, région de Louga)	156,3 km
Sine	Barkédji (département de Linguère, région de Louga)	205,7 km
Saloum	Koumpentoum (département de Tamba, région de Tambacounda)	412 km

Manga AV (2012).

Chapitre 3 : dynamique des conditions climatiques

Chapitre 4 : les conditions océanographiques et estuariennes

Ces deux chapitres sont le résultat de la compilation des données relatives à l'évolution récente du climat en Afrique du nord et l'ouest au point de vue paléoenvironnement.

Ils s'intéressent aussi aux mécanismes généraux dans l'ensemble du Sénégal et aux éléments du climat dans le domaine insulaire et dans les régions bordières.

En second lieu, sont analysées les modifications des conditions océanographiques et estuariennes où l'accent est mis sur l'étude de la morphologie et de la bathymétrie du littoral, sur la répartition des sédiments du plateau continental de la Petite Côte enfin, sur les facteurs généraux des conditions océanographiques.

Chapitre 3 : dynamique des conditions climatiques

3.1 Evolution récente du climat en Afrique du nord et l'ouest

3.2 Les mécanismes généraux:

3.3. Les éléments du climat.

3.3.1. Les vents

3.3.1.1. Mbour

3.3-1.2. Fatick

3.3-1.3. Kaolack

3.3.2. Insolation

3.3.2.1. À l'Ouest: Mbour

3.3.2.2. Au Nord : Fatick

3.3.2.3.À l'Est: Kaolack

3.3.3. Les températures

3.3.3.1. Mbour à l'Ouest

3.3.3.2 .Au nord : Fatick

3.3.2.3. À l 'Est : Kaolack

3.3.4. Evaporation

3.3.4.1. À l'Ouest: Mbour

3.3.4.2. Au Nord : Fatick

3.3.4.3.À l'Est: Kaolack

3.3.5. L'humidité relative

3.3 .5.1. Mbour

3.3 .5.2. Au Nord ; Fatick

3.3 .5.3. À l'Est : Kaolack

3.3.6. La pluviométrie.

3.3.6.1 Variabilité interannuelle et nombre de jours de pluie

3.3.6.1.1. Des stations du secteur Nord et Nord-ouest.

3.3.6.1.2. Des stations du secteur Est et Sud-est

3.3.6.1.3. Des stations du secteur Centre et Sud

3.3.6.2. Ecart à la normale 1961-1990.

3.3.6.2.1. Des stations du secteur Nord et Nord-ouest

3.3.6.2.2. Stations du secteur Est et Sud-est

3.3.6.2.3. Stations du secteur Centre et Sud

3.3.6.3. Anomalies standardisées et courbe de tendance

3.3.6.3. 1. Des stations du secteur Nord et Nord-ouest

3.3.6.3. 2. Des stations du secteur Est et Sud-est

3.3.6.3. 3. Des stations du secteur Centre et Sud,

3. 3.6.4. Variabilités spatio-temporelles des précipitations pluvieuses à l'échelle du bassin du Saloum et des régions de bordures.

3. 3.6.4.1. Le secteur Nord et Nord-Ouest

3. 3.6.4.2. Le secteur Est et Sud-est

3. 3.6.4. 3. Le Centre et Sud

3.3.6.5. Caractérisation de la saison pluvieuse

3.3.6.5.1. Début et Fin des hivernages

3.3.6.5. 2. Durées d'hivernage et mois les plus pluvieux

3.3.6.6. Coefficient pluviométrique des années excédentaires

3.3.6.7. Evolution des précipitations en années déficitaires

3.3.6.7. 1. Le secteur Nord et Nord-ouest

3.3.6.7. 2. Le secteur Est et Sud-Est

3.3.6.7. 3. Le secteur Centre et Sud

Conclusion partielle.

Introduction

Les flux sont conditionnés par les mécanismes généraux de la circulation en Afrique de l'Ouest.

Pour une analyse des mécanismes qui régissent le climat en Afrique de l'ouest, nous allons nous appesantir sur les éléments du climat. Un accent particulier est mis sur l'étude de la pluviométrie, élément essentiel pour déterminer le climat en zone tropicale. Mais, d'abord comment a évolué récemment le climat en Afrique de l'ouest et sur le Sénégal, et quels sont les mécanismes généraux ?

3.1. Evolution récente du climat en Afrique de l'ouest.

Dans l'analyse des changements climatiques en Afrique, une étude paléogéographique est nécessaire pour comprendre les phénomènes actuels.

« Sur le littoral occidental, le courant des Canaries et l'upwelling sont puissamment renforcés et la chute des températures se situant entre - 4 et -10°C (-5 à - 6°C) en moyenne » (Sarnheim M et *al*, 1981, Hooghiemstra, H. 1986). A cette période se succède l'Optimum Climatique Holocène qui, selon Leroux (1994) « est compris en Afrique, entre 9 et 6 ka. C'est une période climatique qui contraste avec le Dernier Maximum Glaciaire et s'inscrit dans une dynamique chaude. Elle est marquée par la reprise des précipitations, avec un maximum humide vers 9000 ans BP (Pluvial Holocène). Et « en deuxième phase après la coupure située vers 7,5 ka, un écoulement moins régulier, plus saisonnier et recentré sur l'été » (Talbot M R 1980, Servant M et *al* 1980).

Selon M Leroux (1994) « l'évolution climatique de l'Afrique, comme celle de toute la zone tropicale, est aisément expliquée par les variations de l'insolation dans les hautes latitudes qui déterminent le mode de circulation générale, par les facteurs additionnels allogènes représentés par l'environnement continental et océanique de l'Afrique, par la présence des inlandsis américain et scandinave qui entretiennent la puissance des AMP longtemps après le facteur cosmique, et par l'interférence avec les dispositions spécifiques de l'Afrique ».

Au cours des 30 000 dernières années, l'histoire géologique de la zone intertropicale est caractérisée par une succession régulière de pluviaux et d'arides, mais la période concernée par la carte va 18 000 ans à 15 000 ans BP. Elle se caractérise par une succession d'arides et de pluviaux.

L'aride Ogolien, épisode morphoclimatique homogène intéresse la majeure partie de l'Afrique de l'Ouest, de l'Atlantique au Tchad. C'est une période de rhexistasie caractérisée

par la prédominance des actions éoliennes, une baisse généralisée de l'écoulement et une absence quasi-totale du couvert végétal.

Le Pluvial Tchadien au cours duquel la pédogenèse fut prédominante et avait façonné beaucoup de milieux hydromorphes. Il a connu une reprise de l'écran forestier et une mise en eau des lacs. La Petite Phase Sèche qui a vu un léger remaniement des édifices dunaires dans le delta intérieur du Niger.

Enfin, le Pluvial Néolithique contemporain de la transgression nouakchottienne a laissé aussi des témoins dans le paysage ouest-africain.

Dans l'aire d'étude, l'évolution fut marquée par une période Nouakchottienne intervenant après une phase un peu sèche, correspondant à un remaniement local des dunes rouges Ogoliennes: c'est l'Holocène Supérieur vers 5500 ans BP, donnant le plus haut niveau marin +1,5 à +2 m IGN.

Au maximum de la transgression, selon Sall MM (1982) « la mer pénètre dans les zones littorales déprimées du Saloum jusqu'en amont de Birkelane (110 km) et remonte les basses vallées du Sine, du Khombole, de la Gambie et de la Casamance. Cette transgression est responsable du comblement vers 4 500 ans BP, avec une sédimentation essentiellement marine, relayée dans les zones les plus internes par une sédimentation de type lagunaire à partir de 4 200 ans BP ».

Après cette phase holocène, survient la période historique.

L'évolution pendant cette période historique (1 000 ans) a été décrite par Sircoulon J. (1990) qui, a distingué plusieurs phases à partir du 7^{ième} siècle :

- « - du 7^{ième} au 12^{ième} siècle, les conditions climatiques étaient plus favorables ;
- au 13^{ième} c'est l'aridité et la reprise de l'activité éolienne au Sahara ;
- du 14^{ième} à la fin du 16^{ième} siècle, se note une amélioration climatique sensible, mais avec quelques périodes de famine et de sécheresses accentuées vers 1420, 1460, et 1550 ;
- aux 17^{ième} et 18^{ième} siècles, c'est l'aridification de la zone Saharienne, mais les pluies semblent être au 17^{ième} siècle très abondantes dans les régions tropicales comme l'attestent les fortes crues des fleuves tropicaux parvenant au Sahel et les hauts niveaux du lac Tchad ;
- de graves sécheresses semblent s'être produites vers 1680 et 1750.
- au 19^{ième} siècle c'est l'optimum humide dans la seconde moitié du siècle corroboré par les récits des voyageurs et des militaires ».

L'Afrique de l'Ouest a connu deux paroxysmes de sécheresse en 1972-1973 et 1983-1984. Les données de pluies actuelles révèlent que les totaux enregistrés depuis les années 1970,

sont sans précédent depuis le début du siècle. Se révèle donc un changement climatique majeur dans cette partie, à l'instar de ce qui se passe dans les autres domaines climatiques.

Pour comprendre les modifications des régimes de pluie en Afrique de l'ouest, des témoignages historiques sont nécessaires appuyés par des explications scientifiques dans le fonctionnement de la machine océan-atmosphère et de sa variabilité.

Dans le cas précis de l'Afrique occidentale, le rétrécissement des bandes climatiques vers le sud engendrant celui de la forêt tropicale, aurait commencé vers 18 000 ans BP selon l'observation de la figure 9 ci-dessous proposée par Messerli B., (1973)

La première étape coïncide avec l'Aride Ogolien (20 000-12 000 ans BP, occasionnant une contraction de la forêt dans le golfe de Guinée ; le deuxième stade correspond au Pluvial Tchadien qui a élargi et allongé la bande forestière. Les deux autres épisodes, l'Actuel et la Période Actuelle témoignent respectivement d'une pulsation légèrement humide et des changements en cours (fig. 9).

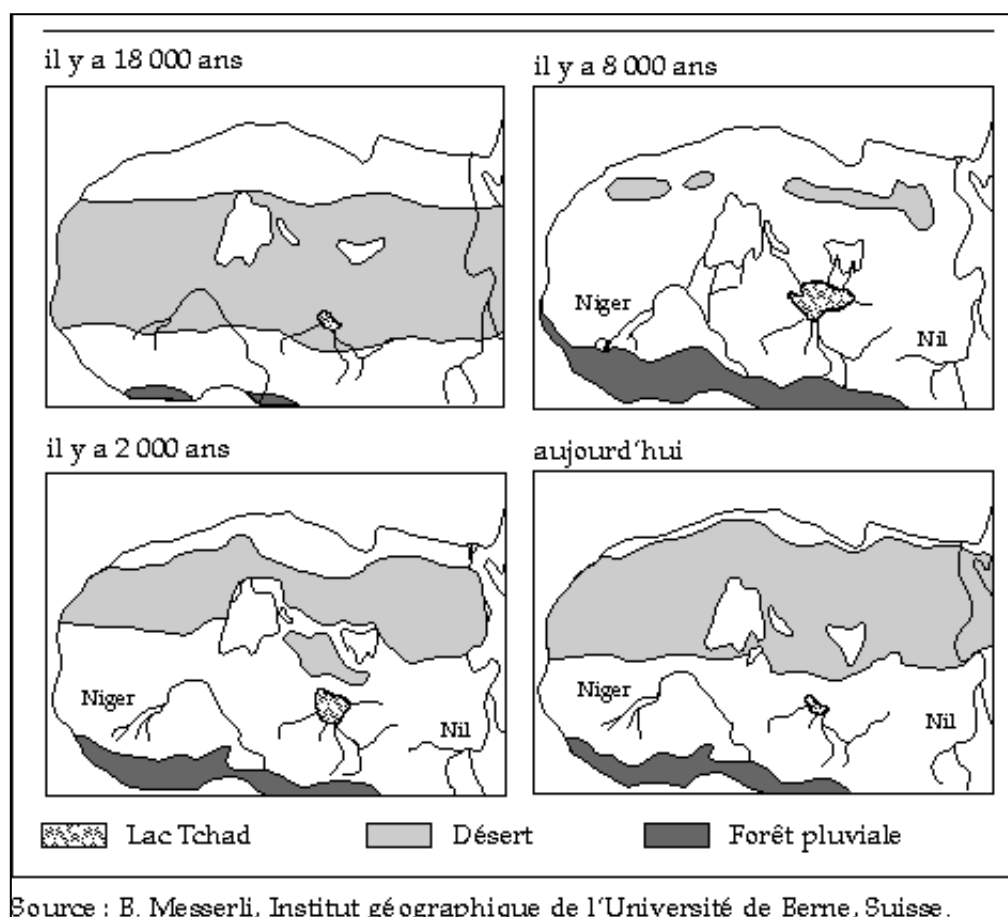


Figure 8: rétrécissement des bandes climatiques vers le Sud de 18 000 ans à aujourd'hui

Messerli B (1973)

Toujours pour l'Afrique de l'Ouest, Fabre and Petit-Maitre (1988) rapportent que le Sahara a connu au cours de l'Holocène quatre grandes phases de variabilité climatique :

- une phase humide pendant le troisième niveau isotopique (40-20 ky B.P. (1000 ans Before Present)) ;
- une phase aride pendant le deuxième niveau isotopique (20-10 ky B.P.) qui marque l'extension de la ceinture du Sahara ;
- une phase humide pendant le premier niveau isotopique (10-3 ky B.P) marquée par une extension des lacs.

Mais il y a eu un début de la détérioration des conditions climatiques aux environs de 7ky B.P;

- installation de la phase aride depuis 3 ky B.P. C'est cette dernière phase d'aridité (Yan et Petit-Maitre, 1994) qui continue jusqu'à nos jours avec une extension du Sahara ; elle est accentuée par le phénomène de la désertification ».

Des témoignages historiques appuyés par des raisonnements géographiques tirés d'éminents spécialistes, ont analysé les changements climatiques récents dans ces deux parties de l'Afrique tropicale.

L'essentiel du texte provient de l'œuvre de Maley J. (1981) qui a cité Urvoy (1936), Mauny (1961), Cissokho (1968), Daveau (1969), Nicholson (1976), Adams (1977), Gallais (1977) et Jakel (1979).

Maley J. (1981) apporte d'autres témoignages à partir des navigateurs portugais. Il souligne, en citant Daveau (1969), un navigateur « le portugais Ca Da Mosto qui visita le Cayor au cours d'un voyage en 1455-1456 a dit : « au Cayor à cette époque, il n'y avait qu'une seule saison des pluies estivales. Cette saison pluvieuse paraît avoir été plus courte qu'actuellement ». Car, Ca Da Mosto indique que les pluies ne commençaient alors que fin juillet, allant jusqu'en septembre ». Nous appuyons cette idée par un autre témoignage dans le Saloum ; témoignage tiré toujours de Maley J citant Daveau (1969) : « un navigateur portugais Fernandès V rapporte que dans les premières années du 16^{ième} siècle, au sud du Cap Vert, vers la région actuelle de Kaolack, les gens semailent et récoltaient deux fois par an ; une fois en avril et une seconde fois en septembre.

Alors qu'actuellement les pluies de Heug centrées essentiellement sur l'hiver, sont insignifiantes dans cette région (1mm/an en février) ».

Ces écrits soutiennent un climat humide dans le delta du Saloum, caractérisé par une longue saison pluvieuse et l'importance des pluies de Heug.

Maley J fait observer d'autres preuves de migrations dans d'autres régions :

-« dans l'Adrar des Iforas, la ville d'Es Souk fut définitivement abandonnée par ses habitants vers 1640 Mauny (1961) ».

-« dans l'Aouker, le dernier niveau de la ville d'Awdaghost contient des fragments de pipes, montrant que la ruine définitive de l'agglomération est postérieure à la fin du 16^{ième} siècle (D et S Robert)...Les données historiques montrent que ses sédentaires ont disparu de la région au 17^{ième} siècle et qu'ils ont été remplacés par des maures et des arabes qui sont des populations surtout nomades...Ces migrations ne peuvent s'expliquer que par une nouvelle phase d'aridification du Sahara tropical et de la zone sahélienne....Dans la boucle du Niger, des famines et des sécheresses terribles ont été décrites dans les deux 'Tarikh' (cf. Cissokho 1968) particulièrement dans les années 1617-1618, puis 1639-1643 ».

« Une sécheresse accompagnée d'une importante famine a eu lieu de 1631 à 1641 au Sénégal » Nicholson (1976) et cette aridification du climat a atteint son maximum d'intensité partout dans le Sahel dans la première moitié du 18^{ième} siècle » Nicholson (1976). Un autre témoignage provient d'Urvoy (1936) « la descente régulière des nomades vers le Sud, marque en ce 17^{ième} siècle un pas nouveau ».

Mais la seconde moitié du 19^{ième} siècle « a connu une période un peu plus humide, avec une décade un peu plus sèche entre 1880 et 1890 où quelques sécheresses sont mentionnées » Nicholson et Gallais (1977) in Maley J (1981). Ce dernier souligne que « les principales sécheresses se sont produites en 1913, 1940 -1941et 1972- 1973. » Particulièrement au sud du Sahara, Bernus et Savonnet (1973) ont détecté « depuis le début du siècle, quatre phases sèches au sud du Sahara : de 1895 à 1905, de 1910 à 1916, de 1938 à 1943 et de 1968 à 1985 ».

Enfin, d'autres explications se sont appuyées sur les crises morphogéniques ayant secoué le Sahel surtout au 20^{ième} siècle. Des chroniques pluviométriques ont montré des variations récentes établies comme suit :

« - 1910 à 1916 : période de sécheresse ;

- 1920 à 1970 : période humide surtout de 1950-57 (7 ans) ;

- 1970 à 2003 : période de sécheresse surtout entre de 1971 à 1976 et 1980 à 1988, la plus

longue et la plus intense du siècle.

- mais la sécheresse ralentit lentement depuis ».

Ces chroniques sont confirmées par Veyret Yvette (1998) qui parle : « de crises morphogéniques brèves associées à des modifications climatiques de courte durée ».

Parmi les plus analysées, il faut évoquer celles qui affectent le Sahel depuis le début du siècle ; les sécheresses de 1900 - 1903, celles de 1906 à 1916, 1940-1943, 1960, 1972-1974, 1983-1985 dont l'ampleur a varié selon les secteurs envisagés dans l'ensemble sahélien.

Rapportés à la normale de la période 1931-1960, les déficits moyens des précipitations pour les années de 1961 à 1985, atteignent 25% à 30% sur la lisière méridionale du Sahara, 10 à 25% sur l'ensemble de l'Afrique occidentale, et 4 à 7% sur les bordures du golfe de Guinée. Ces déficits se sont traduits par la translation de l'isohyète 100 mm ; de 200 à 300 km vers le Sud. L'isohyète 500 mm a migré de 100 à 150 km et celle de 1000 mm de 50 à 100 km.

Il s'agit dans les trois cas de moyennes calculées sur 25 ans. Si l'on ne se réfère qu'à l'année 1983, les isohyètes 100 et 500 mm ont régressé vers le Sud respectivement de 400 à 500 km et de 150 à 250 km ».

L'année 2007 a enregistré les climats les plus extrêmes depuis 1880, date à laquelle l'homme a commencé à enregistrer les caprices du ciel ».

Des auteurs ont fixé les limites entre les différents domaines climatiques par le tracé des isohyètes. C'est le cas de Mahé G. (1993) pour qui, « la limite entre climat sahélien et soudanien est marquée par les isohyètes annuelles 700-800 mm », tandis que Mahé et L'Hôte (1996), ont constaté une migration des limites bioclimatiques vers le Sud.

Concernant la sécheresse induite par le changement en cours, Sircoulon (1976) avance que « l'année 1972 constitue le point culminant de la sécheresse et que celle-ci s'est étendue de l'Atlantique au Soudan. » Le tableau ci-dessous N° 13, illustre des déficits importants. Pourtant l'année 1975, est excédentaire ; ce qui fait penser un retour à une situation normale, poussant Sircoulon (1976) « à évaluer à 15-20 ans l'intervalle de retour d'une telle séquence sèche.

Plusieurs travaux de Nicholson (1980, 1981, 1986) « fournissent une première vision de l'ensemble de la variabilité spatiotemporelle des précipitations en insistant sur la régionalisation et la persistance de la récente sécheresse. Les années 1982 à 1984 enregistrent des précipitations encore plus faibles que celles de 1972-1973 ».

Mais, selon les autres chercheurs, se remarque un changement climatique.

C'est le cas de Grégory (1982) qui montre que la séquence pluviométrique 1970-1980 est statistiquement différente de la séquence 1931-1969 sur l'ensemble du Sahel, de ceux de

Hubert et Carbonnel (1987), Demarée et Nicolis (1990), Lubès *et al.* (1995) qui analysent l'évolution chronologique des données non plus en termes d'évolution progressive et linéaire d'une situation excédentaire vers une autre déficitaire, mais en termes de transition brusque d'un état climatique vers un autre » (tabl 13).

Tableau 13: Diminution des précipitations en Afrique de l'Ouest et Centrale

Pays	Baisse des précipitations(%)	Périodes de rupture
Cameroun	16	1969-71
Togo	16	1968-70
République centrafricaine	17	1968-69
Bénin	19	1968-70
Ghana	19	1968-69
Nigéria	19	1967-70
Guinée	20	1969-70
Tchad	20	1970-71
Côte d'ivoire	21	1966-71
Burkina Faso	22	1968-71
Guinée Bissau	22	1967-69
Mali	23	1967-70
Sénégal	25	1967-69

Servat *et al.* 1998

Ces résultats de plusieurs chercheurs, ont été mis en évidence par des méthodes d'analyses, d'interpolation et de représentations cartographiques à partir des séries pluviométriques, une tendance générale à l'aridification (Nicholson, 1994 ; Hulme, 1996a ; Servat *et al.*, 1998), celle-ci n'est ni générale, ni continue, mais le déficit pluviométrique est significatif sur l'ensemble du continent africain (Hubert *et al.* 1989 ; Adejuwon *et al.* 1990 ; Mahé et Citeau, 1993).

« La pluviométrie est un bon indicateur de l'évolution climatique et elle a fortement diminué après la rupture de 1969/1971 au cours des décennies 1970 et 1980 (Carbonnel et Hubert, 1992 ; Olivry *et al.* 1993 ; Paturel *et al.*, 1997 ; Servat *et al.*, 1997a). La légère augmentation qui a marqué la décennie 1990 n'a jamais permis d'atteindre les valeurs "pré-rupture" caractérisant les années 1950 et 1960 (Xue, 1997 ; Ardoin, 2003 ; L'hôte, 2003 ;).

Ainsi, par exemple, les zones à très forte pluviométrie disparaissent partiellement et à l'inverse, les zones à faible pluviométrie s'étendent considérablement, entraînant de nombreux secteurs à passer d'un régime guinéen à soudanien ».

A ce rythme typiquement naturel, se greffent les actions anthropiques, c'est ce que fait remarquer Tabeaud M (2008) qui avance « même si la dimension tragique des sécheresses du Sahel fait intervenir la surexploitation du milieu par les sociétés humaines, les années déficitaires ont des causes aérologiques, comme en témoignent les siècles passés.

Les sécheresses pluriannuelles (1910- 1915), (1940 -1944), (1968- 1973), (1977- 1994) proviennent du retard de la saison des pluies et/ou de la diminution du nombre des averses.

Ces anomalies peuvent être mises en relation avec une remontée insuffisante de la CIT (FIT) vers le Nord, un épuisement du stock d'eau de la mousson en fin de parcours à la suite des pluies sur le Golfe de Guinée, un cisaillement dans la moyenne troposphère qui limite l'épaisseur de la couche d'ascendance ».

Plusieurs explications, tentatives de définition, ou preuves ont été avancées par des spécialistes au sujet des sécheresses en Afrique au sud du Sahara. Les longues citations qui suivent expriment les avis tous fiables et convaincants des uns et des autres.

Ainsi, Hubert, Carbonnel et Chaouche (1989) « par l'étude des séries hydrométéorologiques et des débits de cours d'eau de l'Afrique de l'ouest (Niger et Sénégal), mettent en évidence au XX^{ième} siècle deux phases humides, de 1923 à 1935 et de 1951 à 1970 et trois phases sèches, avant 1922, 1936 à 1950, et après 1970.

De leur segmentation ressortent les sécheresses historiques des années 1910, 1940 et 1970.

Les auteurs remarquent que « les différentes phases mises en évidence s'inscrivent dans une tendance à l'aggravation de l'aridité datée à environ 4 000 ans BP » in Mainguet M (1995).

Charney (1975) propose la théorie de l'aggravation de la sécheresse du Sahel par l'augmentation de l'albédo de surface due à la dégradation engendrée par les activités rurales qui entraînerait une augmentation des radiations incidentes, compensée par un accroissement de la subsidence de l'air contraire aux mécanismes convectifs générateurs de précipitations. Charney en déduit, que les activités humaines dans le Sahel seraient cause de sécheresse, résultat contesté par Courel (1989) pour qui, les sécheresses relèvent plus des anomalies de la circulation générale de l'atmosphère que des modifications ponctuelles de l'état de surface attribuées à l'homme ».

Ba M et Sall (1996) ont constaté que « l'isohyète < 200 mm est constatée au nord du pays dans la décennie 1970 - 1979 tandis que, dans le même temps l'isohyète > 1.000 mm a glissé

sensiblement vers l'extrême sud. Cette décennie 1970 - 1979, correspond aux premières années d'une longue période de sécheresse généralisée dans l'ensemble du Sahel ».

La figure 10 ci-dessous illustrant le balancement des isohyètes 400 à 1200 mm en Afrique de l'Ouest, de 1922 à 1980, fait ressortir deux grandes décennies :

- 1951-1960 ; décennie de précipitations excédentaires,
- 1971- 1980 ; décennie de précipitations déficitaires.

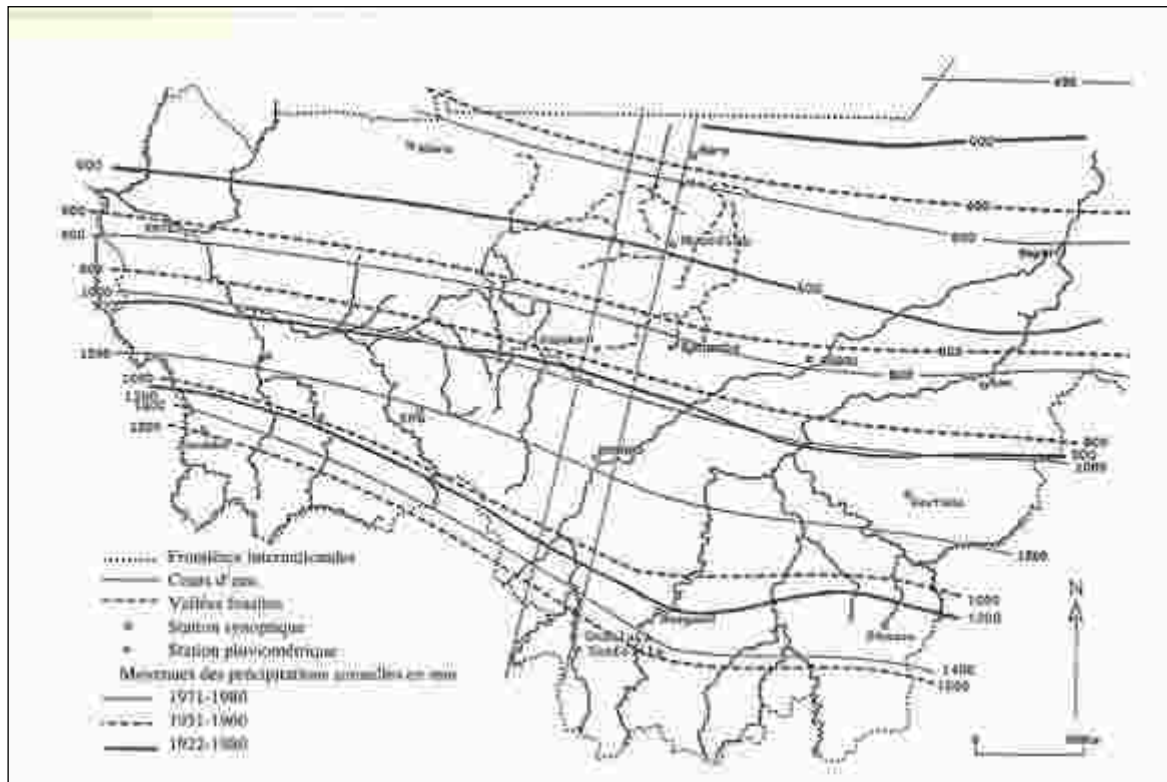


Figure 9: Balancement des isohyètes 400 à 1200 mm en Afrique de l'Ouest, de 1922 à 1980

Mainguet M (1995)

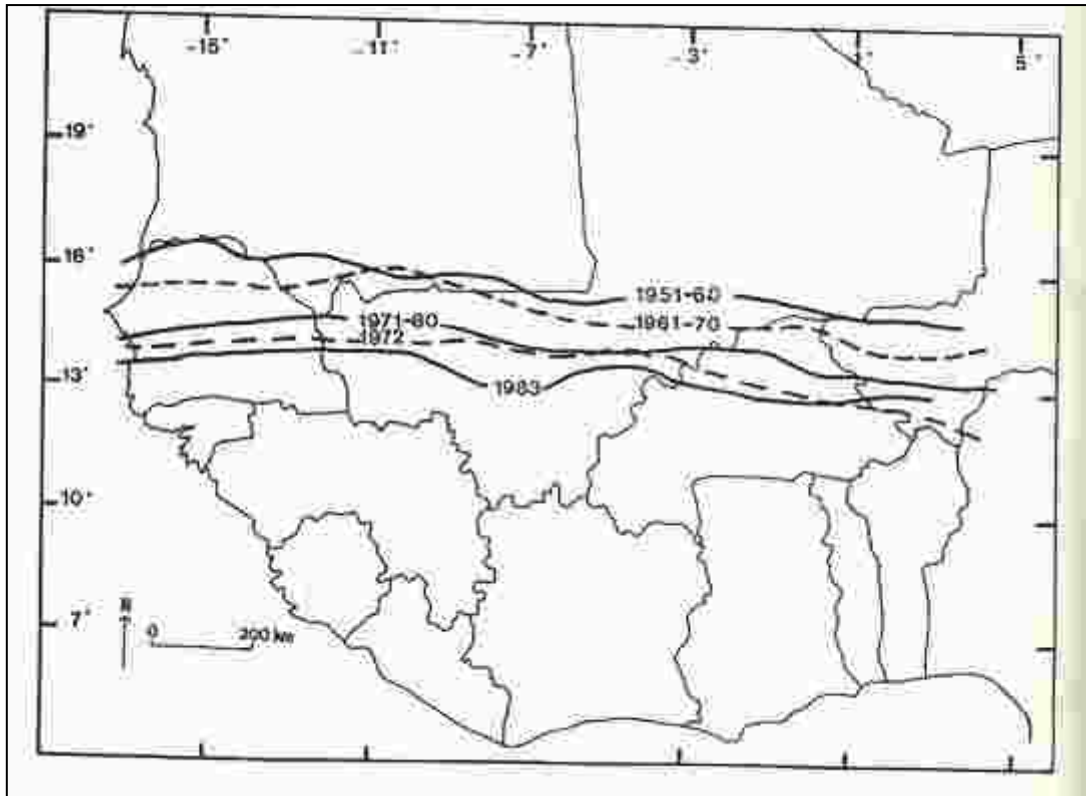


Figure 10: Balancement de l'isohyète 500 mm en Afrique de l'Ouest avant et pendant les sécheresses de 1968 à 1983,

Carbonnel J. P. in Mainguet M. (1995)

La sécheresse de 1968 à 1973, a touché 16 pays ; les îles du Cap Vert, le Sénégal, la Gambie, le Mali, la Mauritanie, le Burkina-Faso, le Tchad, le Niger, le Bénin, le Nigeria, la République Centrafricaine, la Libye, le Soudan, la Somalie, Djibouti et l'Éthiopie et celle de 1980 à 1984, 14 autres pays de l'Afrique centrale et méridionale ont été affectés.

« La sécheresse chronique de 1968 à 1985, en particulier, les deux épisodes 1972 – 1974 et 1983 - 1984, ont montré le glissement des isohyètes 400 et 600 mm de 2° en moyenne et l'existence entre 17 et 11° N d'une zone sahélo-soudanienne » (fig. N°10). Dans le même ordre d'idée, Mainguet M (1995) ajoute : « la sécheresse de 1910 à 1915 appelée *Grande Bere* dans le calendrier Songhaï, ce qui signifie « longue famine » est appelée *Tasbane* c'est-à-dire « calamiteuse » dans le calendrier peul.

A Saint - Louis du Sénégal où elle a duré de 1908 à 1915, les précipitations en 1914 étaient tombées à 144 mm au lieu de 330 mm (moyenne entre 1964 et 1974). Niamey n'a reçu que 281mm en 1915 au lieu d'une moyenne de 580 mm (soit un déficit de 48 %). Ndjamena n'a reçu en 1913 que 306 mm au lieu de 620 mm en moyenne (déficit 50 %).

Ce tableau 14 montre les différentes fluctuations du climat en Afrique Occidentale et certains niveaux du lac Tchad ; c'est le même scénario au Sénégal.

L'analyse de ce tableau montre la prédominance des périodes sèches en nombre (8/15) et celle des périodes humides en durée 62/94 ans. Elle souligne encore 3 périodes de sécheresse sévère dont celle de 1977 -1985 est la plus longue au cours du XX^e siècle.

Après avoir montré les différentes fluctuations globalement en Afrique de l'Ouest, Mainguet, M (1995) descend à un cadre plus restreint celui de la frontière Mali –Mauritanie ; ainsi souligne-t-elle qu'à « au Mali occidental, de la frontière Mauritanie- Mali (15°40'N) à la frontière Mali – Guinée (15°50'), est représenté le repli des isohyètes de la limite des écosystèmes secs, pendant trois périodes différentes :

- une période longue de presque 60 ans (1922 - 1980), qui intègre les épisodes de pluviométrie excédentaire et déficitaire ;
- une période de 10 ans (1951 - 1960), correspondant à un épisode plus humide, qui s'exprime par la remontée de tous les isohyètes vers le Nord ;
- une période de 10 ans (1971 - 1980), correspondant à un épisode plus sec, qui se traduit par un glissement des isohyètes vers le Sud.

Tableau 14: Fluctuations climatiques et phases de sécheresse au

Périodes	Caractéristiques
1905- 1908	Bas niveau du lac Tchad
1912-1915	Période de sécheresse sévère
1916 -1924	Période humide
1925 -1928	Période sèche
1929- 1939	Période humide
1940 -1944	Période de sécheresse sévère
1945 -1946	Période humide
1947- 1949	Période sèche
1950 -1961	Période humide
1962- 1967	Période intermédiaire
1968 -1973	Période de sécheresse sévère
1974 -1976	Période intermédiaire
1977 -1985	Période de sécheresse sévère
1987- 1993	Période de pluviométrie convenable
1994	Forte sécheresse en Ethiopie ; prodromes de famine

Sources diverses (In Mainguet, M. 1995)

Cette figure 12 ci-dessous montre que la position de l'isohyète 400 mm, au Mali, a subi un glissement de 100 km vers le Sud au cours de la sécheresse discontinue de 1968 – 1985, rendant au désert cette bande semi-aride ». Cette situation intéresse l'ensemble du Sénégal. Somme toute, la variabilité climatique (augmentation de la température moyenne) des deux derniers siècles (19-20ème siècle) est d'une ampleur plus grande que les variabilités climatiques données par la paléoclimatologie. Les variabilités climatiques anciennes se sont produites sur des milliers voire des millions d'années et sont dues au fonctionnement normal des systèmes terrestre et solaire (Nakicenovic and Swart, 2000; Mann and Jones, 2003). Alors que les dernières variabilités plus rapides semblent provenir des activités de l'homme à l'échelle globale : prolifération du dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Fouquart, 2003). D'où la notion du "changement climatique" attribuée à une variation du climat dont la cause est d'origine anthropique. Ainsi, la notion du changement climatique (Houghton *et al.* 2001) est entrée dans la conscience publique à partir des années 1990 ».

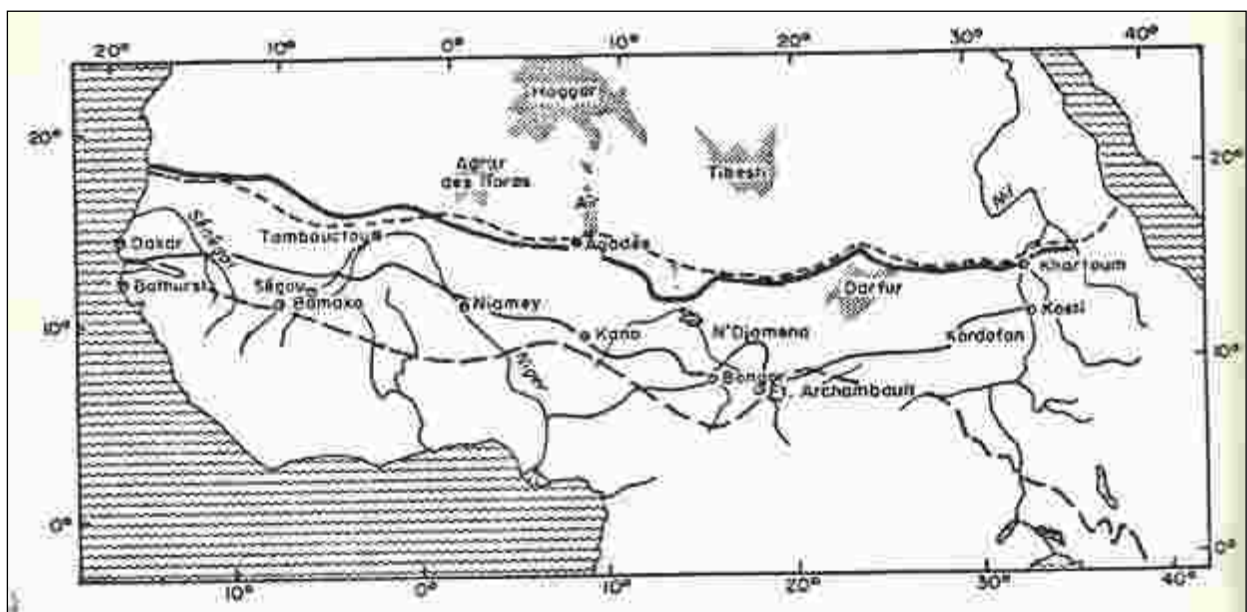


Figure 11: Repli des isohyètes 1000 à 150 mm vers le Nord depuis la sécheresse de 20 000 ans BP à nos jours

Petit Maire *et al* (1994) in Mainguet M (1995)

Légende

- isohyète 150 mm
- — — isohyète 1000 mm
- limite des dunes vives

Echelle 0 ————— 1000 km

Dans le cadre du Mali, cette figure montre le balancement des isohyètes à l'Ouest de la longitude de Mopti, pour prouver une migration vers le Sénégal du déficit pluviométrique en provenance du désert. Ce déficit pluviométrique est prouvé par la migration vers le Sud des isohyètes 400 mm à 1200 mm comme proposé par Mainguet M. (1995) dans ce tableau 15

Tableau 15: Amplitude du balancement des isohyètes à l'ouest de la longitude de Mopti

Isohyètes concernées	Ouest	Centre	Est.
400 mm	-----	-----	125 km
600 mm	135 km	120 km	100 km
800 mm	40 km	40 km	60 km
1 000 mm	90 km	160 km	120 km
1 200 mm	75 km	150 km	140 km

Mainguet M. (1995)

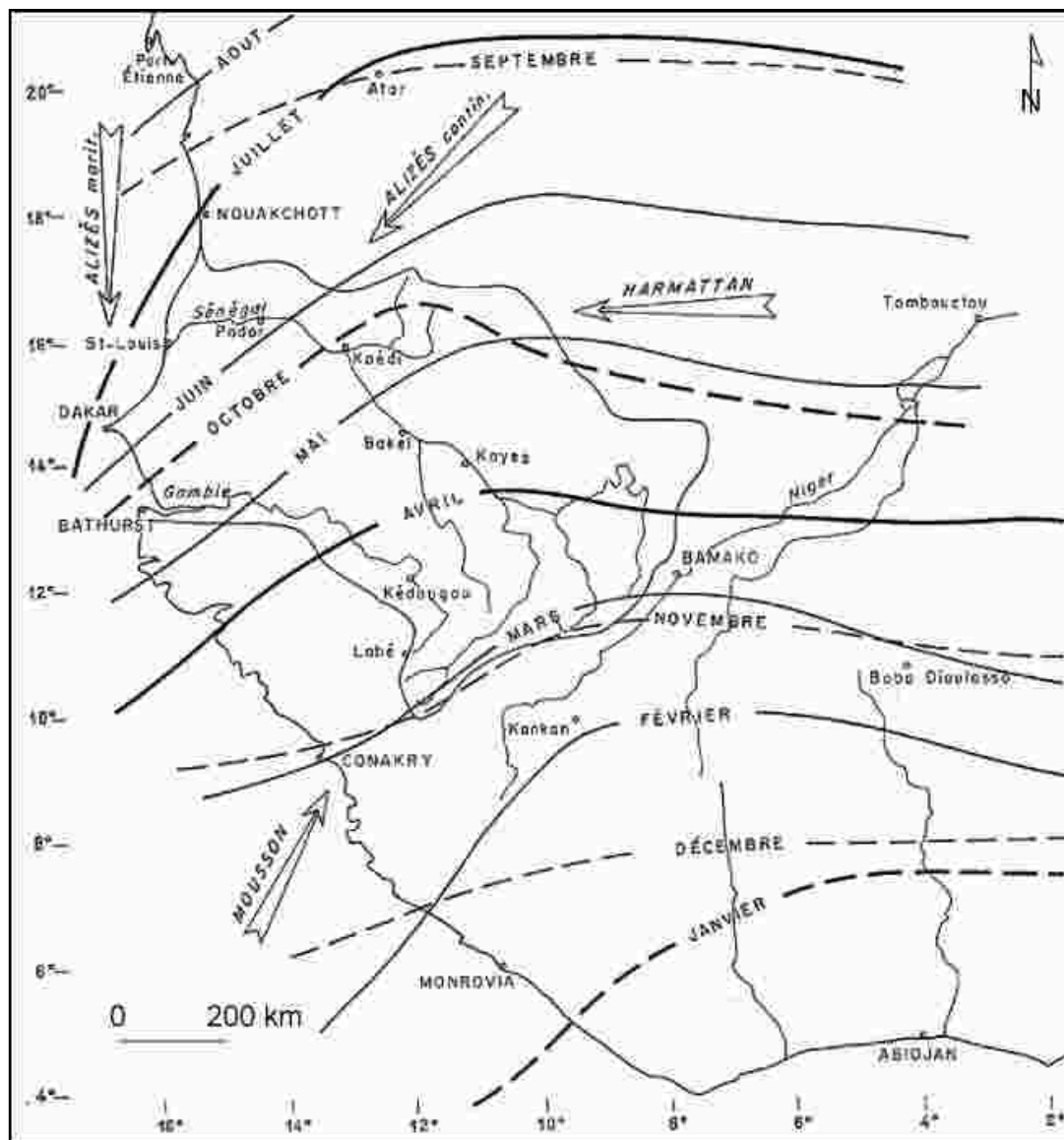


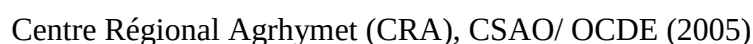
Figure 12: Déplacements du Front Intertropical au cours de l'année

D'après cette carte 17 et la figure 13, dans le domaine du Saloum, l'isohyète 600 mm qui était au nord en 1940 est descendue à la frontière avec la Gambie en 2000, plaçant toute la bande dans le climat sahélo-soudanien qui a connu des indices pluviométriques négatifs en 1915, 1925 et à partir de 1968 jusqu'en 2000.

D'autres preuves attestant les changements climatiques, sont fournies par Fellous et *al* (2007). Selon eux, « le niveau moyen des mers s'est élevé de 130 m à la fin de la dernière période glaciaire, il y a environ 13 000 ans ; cela a été la conséquence de la fonte des calottes de l'hémisphère nord. Le niveau de la mer s'est élevé de 1,8 mm/an entre 1900 et 1990.

Depuis 2000, l'augmentation du niveau de la mer due uniquement aux glaciers de montagne est estimée entre 0,6 et 0,8 mm/an, soit deux fois plus que leur contribution moyenne des cinquante dernières années.

Carte 17: Pluviométrie et zones climatiques des régions semi-arides de l'Afrique de l'ouest. (Translation des isohyètes et la zonation climatique)



La sécheresse des années 1970 et 1980, présente des déficits très élevés jamais atteints auparavant sur la totalité du bassin versant.

Les déficits atteignent – 70 % en domaine sahélien, –50 % en domaine Nord-soudanien, –30 % en domaine Sud-soudanien, et – 20 % en domaine guinéen. Les conséquences hydrologiques de cette baisse de la pluviométrie sont toutes aussi importantes, tant au niveau de l'écoulement local, qu'au niveau de l'approvisionnement des nappes et du bilan de l'eau au niveau des sous-bassins versants ».

Concernant le cas du Sénégal, Ndong J. B. (1996) explique les fluctuations des isohyètes au Sénégal. En effet, selon lui, « les cartes des isohyètes du Sénégal, pays sahélien côtier, réalisées sur la période humide et sur la période sèche (1971-1990) montrent une allure identique. On remarque la même zonalité (diminution du Sud vers le Nord) en fonction de la latitude. Cette zonalité Nord-sud de la pluviosité est perturbée de la même manière sur la côte et aux abords des reliefs guinéens, et ce pour les deux périodes. La remontée des isohyètes sur la côte est liée au flux de mousson Sud-ouest/Nord-est. La période sèche se distingue des années antérieures par un glissement important des isohyètes vers le Sud : l'isohyète 200 mm située très au Nord de la frontière sénégal-mauritanienne durant la période humide se trouve actuellement sur la vallée du fleuve Sénégal et l'isohyète 500 mm est remplacée par l'isohyète 300 mm tandis que l'extrême Sud du Sénégal situé sous l'isohyète 1500 mm pendant la période humide se retrouve désormais sous l'isohyète 1200 mm, soit un recul général des isohyètes 1971-1990 de 100 à 150 km vers le Sud par rapport à celles de 1951-1970 ».

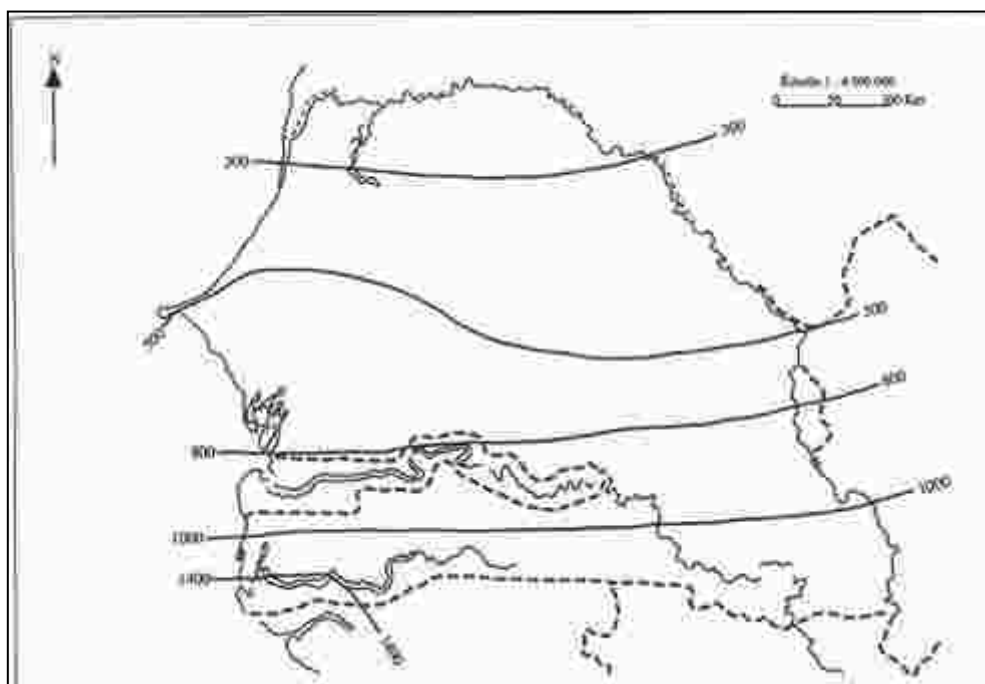


Figure 13: Position des isohyètes Période 1919-1993 (32stations) Ndong J. B. (1996)

Selon la première figure N° 14, de 1971 à 2000, l'estuaire du Saloum est dans la zone de discontinuité d'alizés et l'alizé maritime est presque parallèle au littoral. Pour la deuxième figure, la zone est enserrée par les isohyètes moyennes annuelles 700 mm au Sud et 500 mm au Nord, tout recevant les influences côtières. Par ailleurs, la troisième figure fournit 34 jours de lignes de grains à Kaolack et 30 jours au large des îles. Enfin, pour la dernière, la région est balayée par l'équateur météorologique dans sa position ascendante au mois de juillet et aux mois d'août à octobre dans sa position descendante, plaçant l'estuaire toujours dans la zone des pluies. A l'appui, l'isohyète 700 mm entre 1968 et 1977 passant par Dionewar est remplacée par l'isohyète 600 mm entre 1978 et 1987, enfin, entre 1988 et 1997, elle est centrée sur Sokone.

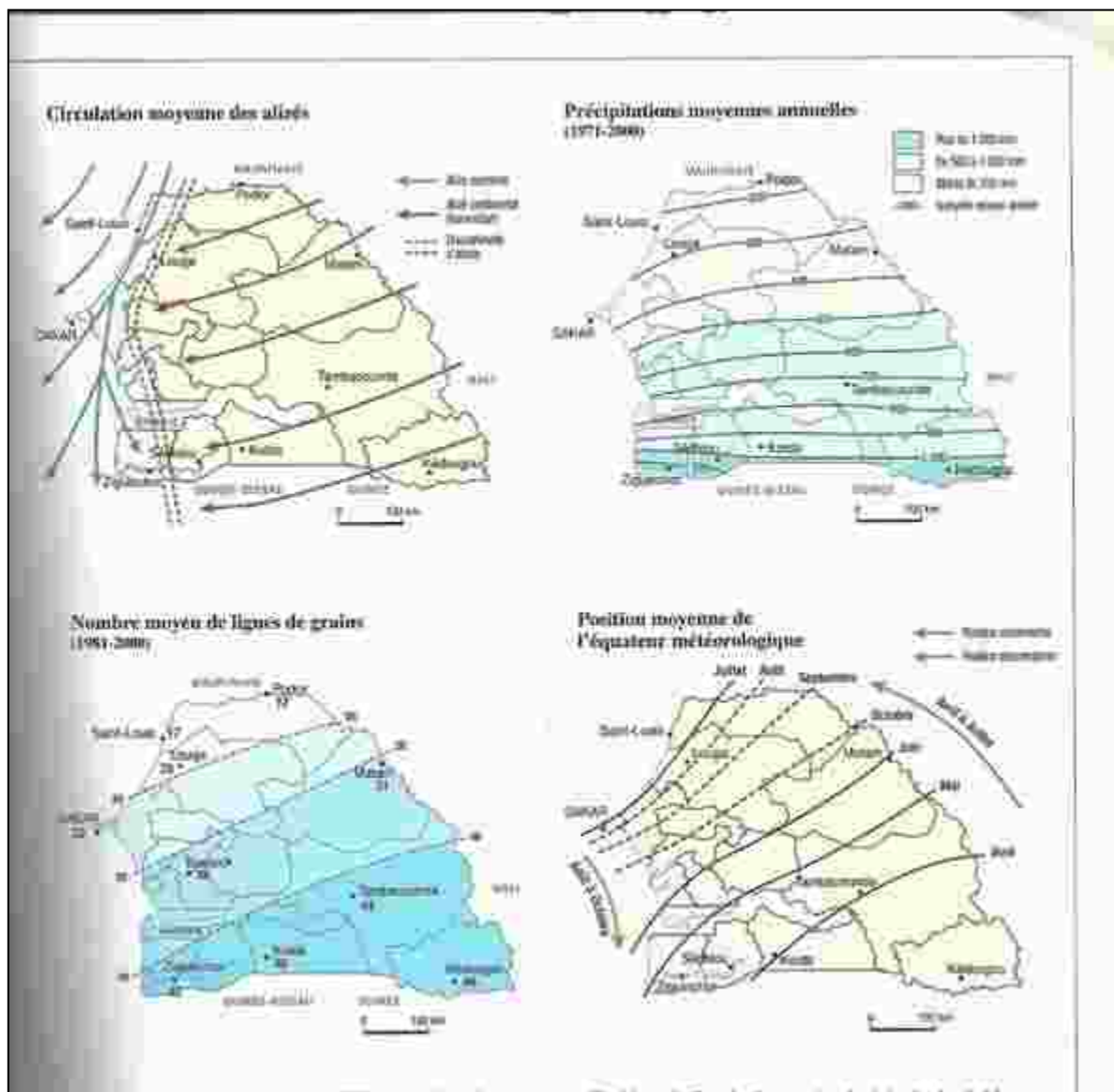


Figure 14: Circulation moyenne des alizés et précipitations de 1971 à 2000 (Sagna P 2007)

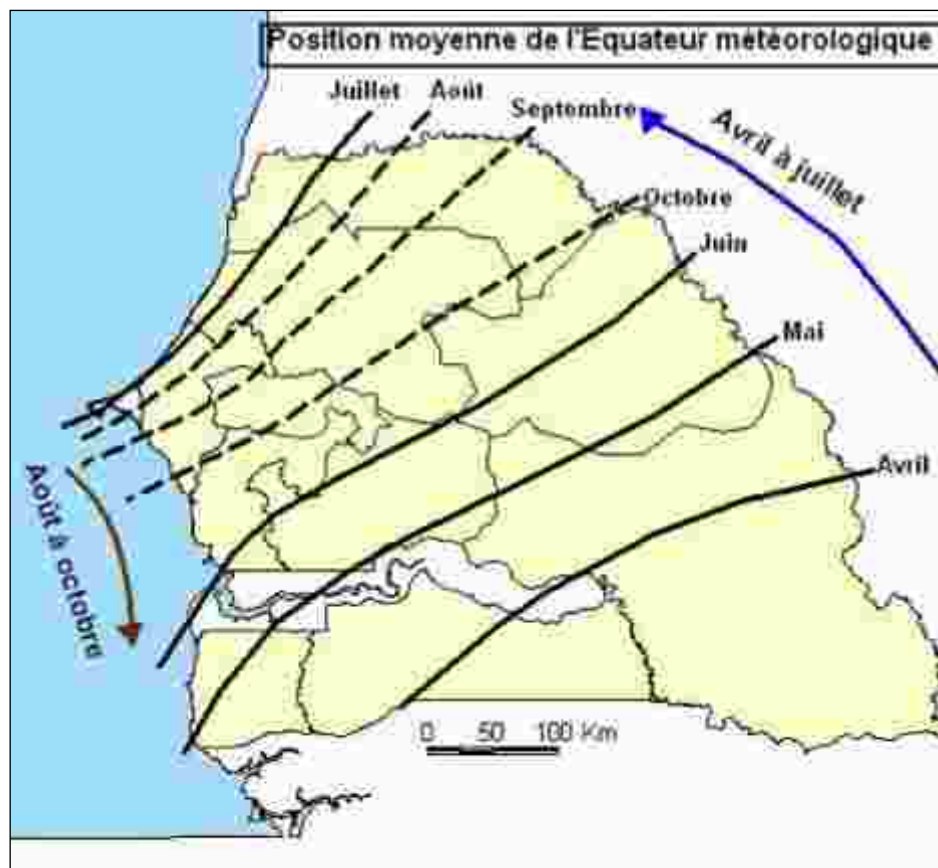


Figure 15: Migration de l'équateur météorologique.

Sagna P (2008)

D'autres indices, selon le Ministère de l'Hydraulique (1994), dans la période 1951 à 1990, le bassin versant du Sine/Saloum et ses régions de bordures sont compris entre les isohyètes 400 mm et 800 mm, témoignant d'un déficit chronique des précipitations.

Aucune controverse n'a donc existé sur la véracité du changement climatique contemporain dans la zone tropicale.

Changement qui se remarque dans l'ensemble, par des désordres climatiques enregistrés au cours des années 1970 :

- vague de froid au Brésil en 1975 ;
- graves sécheresses de 1968 à 1978 en Afrique.

Dans ces conditions, y a-t-il une modification des mécanismes généraux régissant la machine climatique ?

3.2. Les mécanismes généraux:

Au niveau de la planète, les centres d'action sont repartis de part et d'autre de l'équateur, ce qui fait que toutes les régions sont affectées par les vents et plusieurs par l'activité de mousson surtout au mois de juillet. C'est l'objet de cette figure proposée par Delmas R et al (2007)

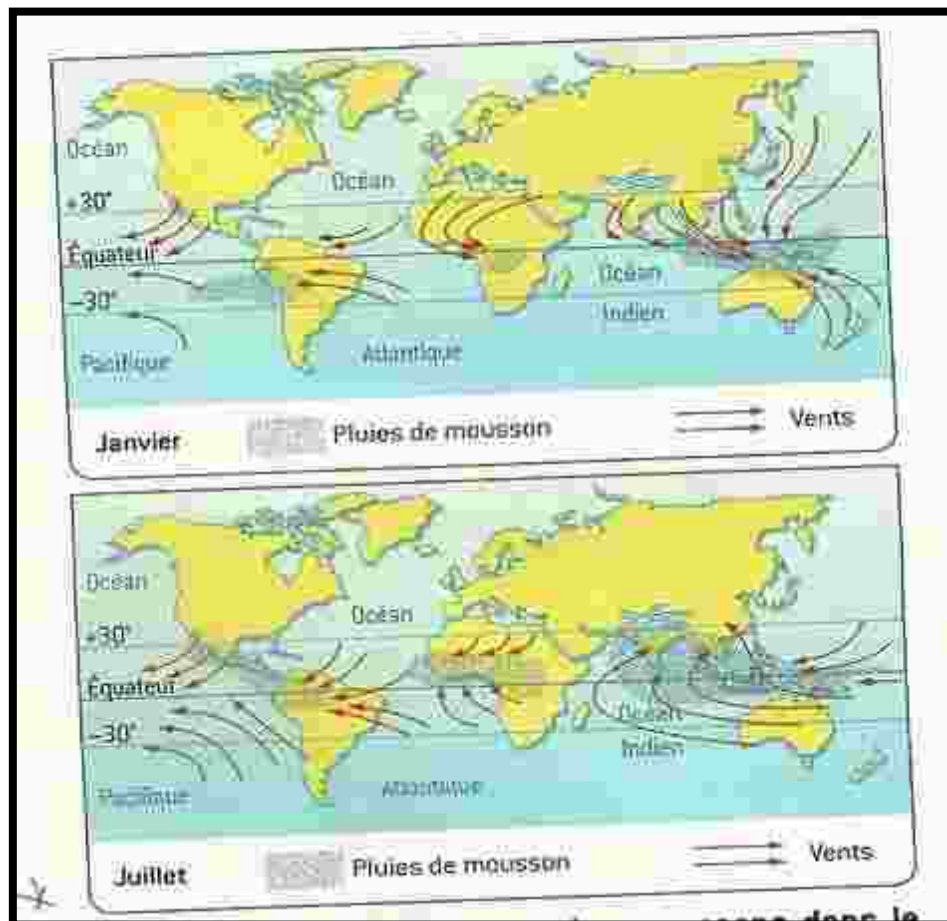


Figure 16: zones affectées par les moussons dans le monde en janvier et juillet et la direction moyenne des flux d'air

(Delmas R et al 2007)

D'après cette figure 16, l'espace d'étude n'est concerné par la mousson qu'à partir du mois de juillet.

D'après Dhonneur, (1985) ; in Mahé, (1993), « le bilan est excédentaire aux basses latitudes et déficitaire au-delà du 50 ième parallèle. On peut considérer que ce système est composé d'une source chaude située dans les régions intertropicales et de deux sources froides situées dans l'atmosphère, l'une entre 0° et 10° de latitude, l'autre entre 50° et 80° de latitude.

Cette répartition différentielle du bilan énergétique (amplification du gradient méridien de température aux latitudes moyennes et du gradient vertical aux basses latitudes), provoque la mise en mouvement de l'atmosphère et se traduit dans les régions intertropicales par le développement des circulations méridiennes cellulaires de type Hadley, transférant l'énergie vers le haut et vers les pôles ».

La zone intertropicale constitue un ensemble assez caractéristique sur le plan de la circulation des « masses d'air ». Mais, La répartition énergétique dans le système Terre – Océan - Atmosphère est loin d'être identique, d'un secteur à l'autre.

Au niveau du continent africain, les mécanismes généraux comportent plusieurs flux provenant de centres d'actions notamment l'anticyclone des Açores et l'anticyclone de Sainte -Hélène qui sont permanents et d'origine dynamique. « Ces hautes pressions subtropicales subissent une translation en latitude au cours des saisons » (Viers G. et Vigneau, 2001). Et selon Sagna P (2000), « l'alizé issu de ces anticyclones, est un flux incapable de provoquer des précipitations du fait de sa structure verticale qui contraint le développement de formation nuageuse ».

Ainsi, selon l'intensité des alizés (diminution de la pression de l'une des anticyclones due à la position du soleil), le FIT, se déplace du sud vers le nord, du mois de février au mois d'août où il atteint sa position la plus septentrionale aux alentours de 20°Nord et dans le sens inverse, du Nord vers le Sud, du mois de septembre au mois de janvier où il atteint sa position la plus méridionale aux alentours de 5°Nord (Penide, 2010). C'est ce déplacement du FIT qui gouverne l'alternance des deux saisons (saison sèche et saison des pluies) en Afrique de l'Ouest avec une saison sèche dans les zones situées au nord du front des deux alizés ».

Le démarrage de la saison des pluies est marqué par un changement rapide de la position de la ZCIT de sa position quasi-stationnaire autour de 5° Nord en mai-juin à une deuxième position quasi stationnaire en juillet-août à 10° Nord (Sultan and Janicot, 2000).

A l'instar de l'ensemble du Sénégal, la Petite Côte sénégalaise est soumise à quatre champs de pression ci-dessous décrits par M Leroux (1977-1983) :

- « l'anticyclone des Açores est situé dans l'Atlantique nord entre 35° N (janvier) et 28° N (mars). La pression varie entre 1025 et 1020 HPa. Son parcours océanique en fait un centre d'action permanent ». Il régit les alizés maritimes dont « les vitesses moyennes varient entre 2 et 3 m.s⁻¹, et les maxima dépassent rarement 4 m.s⁻¹ (Diop, 1990) » ;
- « l'anticyclone de Sainte- Hélène se déplace entre 26° Sud (juin) et 32° Sud (février).

Il a une pression qui varie entre 1018 et 1021 HPa avec une pression constante de 1020 HPa durant 6 mois. Il est plus proche de l'Equateur que celui des Açores ». Il est générateur

de circulation de mousson. Les vitesses moyennes de la mousson sont plus faibles et varient entre 0,9 et 2 m.s⁻¹

- « l'anticyclone Sud libyen est centré en moyenne à 15° N mais, il évolue entre 20° et 25° N. Sa pression est variable et, en été, il est remplacé dans les basses couches par une dépression thermique qui constitue un centre d'appel du flux provenant de Sainte-Hélène ». Il est la source de l'harmattan et sa vitesse moyenne est de l'ordre de 3 à 3,5 m.s⁻¹ (Sakho 2011).

-« enfin, entre les centres de hautes pressions, se développe une ceinture de basse pression ou convergent les masses d'air des différents anticyclones : C'est le front intertropical (FIT) ou Zone Intertropicale de Convergence (ZITC) sur l'océan en altitude. Il sert de frontière énergétique entre les deux hémisphères » (M Leroux 1977 ; 1983).

Durant ces périodes, les éléments du climat se remarquent par des caractéristiques différentes. Au travers la situation climatique des flux retracés par Leroux (1970-1980 et 1996), l'Afrique occidentale est divisée en quatre domaines climatiques et la zone d'étude placée dans le domaine Nord-soudanien entre les isohyètes 500 mm et 1000 mm, est traversée par la discontinuité d'alizé. La figure N° 17 positionne alternativement le Sénégal dans la zone d'alizé et dans le domaine de la mousson, selon la saison.

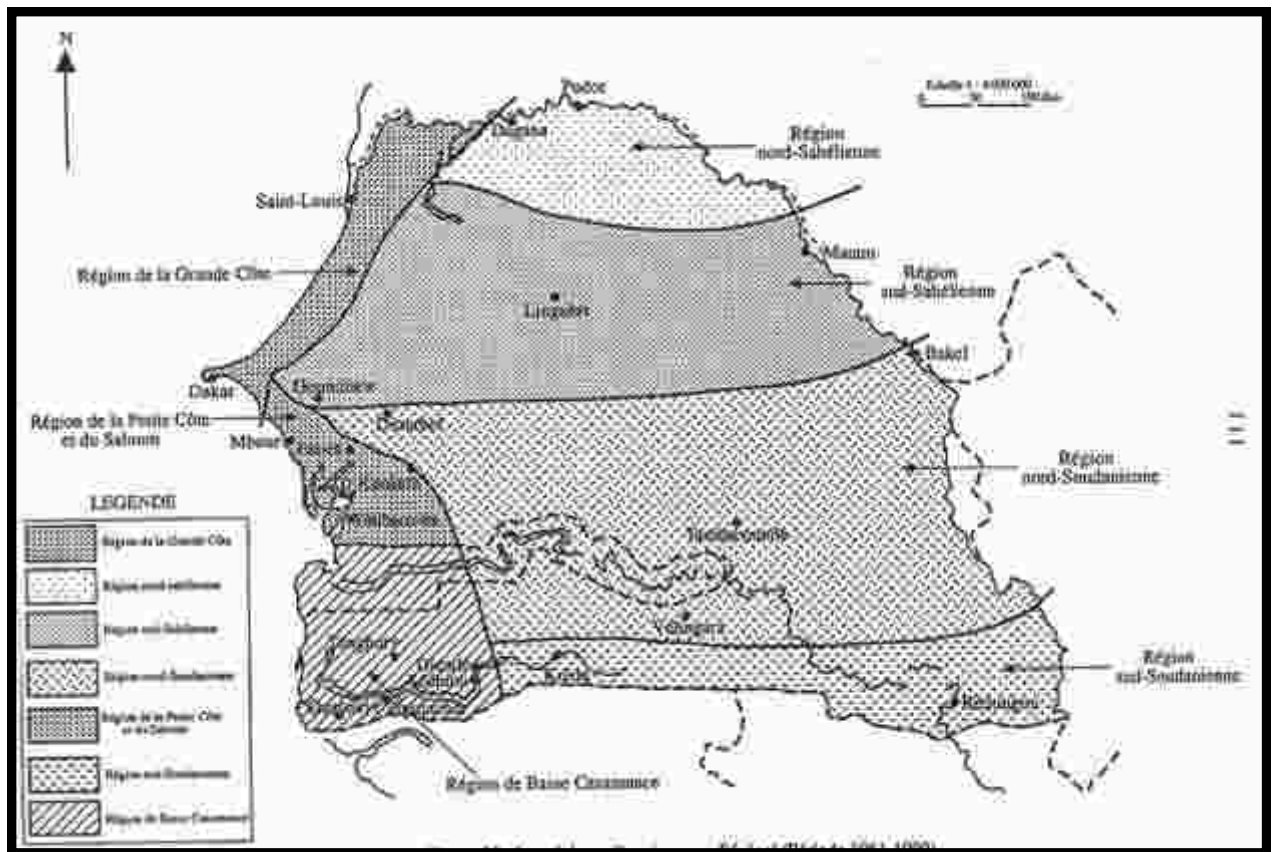


Figure 17: les régions climatiques au Sénégal (période 1961-1990) (Ndong J B 1996)

Leroux place le Saloum dans le domaine Sud- soudanien pour la plus grande partie, tandis que le Nord-est du Sine baigne dans le domaine Nord-soudanien, au total entre les isohyètes 500 et 1000 mm. Ces deux domaines sont encadrés par les traces au sol des discontinuités d'alizés.

Mais la figure proposée par Rebert (1983) 18 après avoir montré les différents centres d'actions, donne toutes les directions des vents d'alizés en deux situations ; celle de janvier et celle de juillet. Elle montre aussi les régions balayées par la mousson durant les deux positions.

« Les pluies apportées par le flux de mousson à l'intérieur du continent surviennent sous forme d'événements pluvieux ou orages dont la durée moyenne est inférieure à 12 heures (Lebel and Le Barbé, 1997; Le Barbé and Lebel, 1997) ». « Ces orages peuvent arroser une zone très limitée dans le cas des convections locales ou une zone très étendue dans le cas des convections organisées ou lignes de grains. Mathon *et al*, (2002) ont fait une étude sur le degré carré de Niamey au Niger et ont montré que les 90 % de la pluie annuelle sont générés par des systèmes convectifs de méso échelle (MCS) dont les 75 % sont dus aux lignes de grains ». Selon Laurent *et al* (1998), « les systèmes convectifs de méso échelle ont été responsables de plus 80 % de la couverture nuageuse convective de la bande sahélienne en

1993 ». Ces systèmes sont matérialisés par la migration du FIT soulignée dans ces figures par Leroux en 1980 et par Rebert en 1983 (fig. 18 et 19).

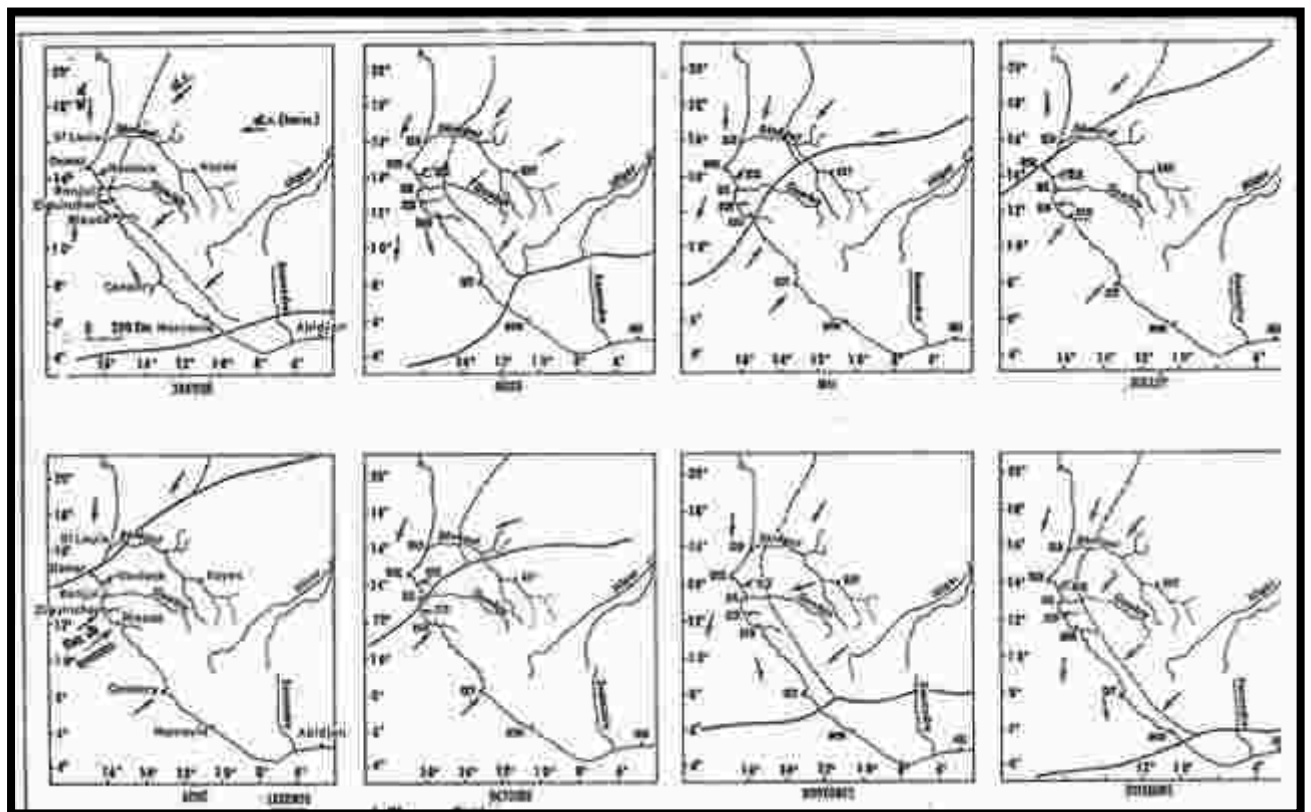


Figure 18: migrations du FIT en Afrique occidentale (Rebert 1983).

A l'échelle du Sénégal, Sagna (2006), par le critère pluviométrique, affirme « la répartition spatiale des précipitations permet de diviser le pays en deux grandes régions climatiques de part et d'autre de l'isohyète 500 mm : la région sahélienne au nord de cette isohyète comprend deux régimes pluviométriques ; (le régime nord sahélien avec une pluviométrie inférieure à 300 mm et le régime sud sahélien avec une pluviométrie comprise entre 300 et 500 mm) ; la région soudanienne au sud de l'isohyète 500 mm comprend ; les régimes nord soudanien (entre 500 et 1000 mm) et sud soudanien (au-delà de 1000 mm) ».

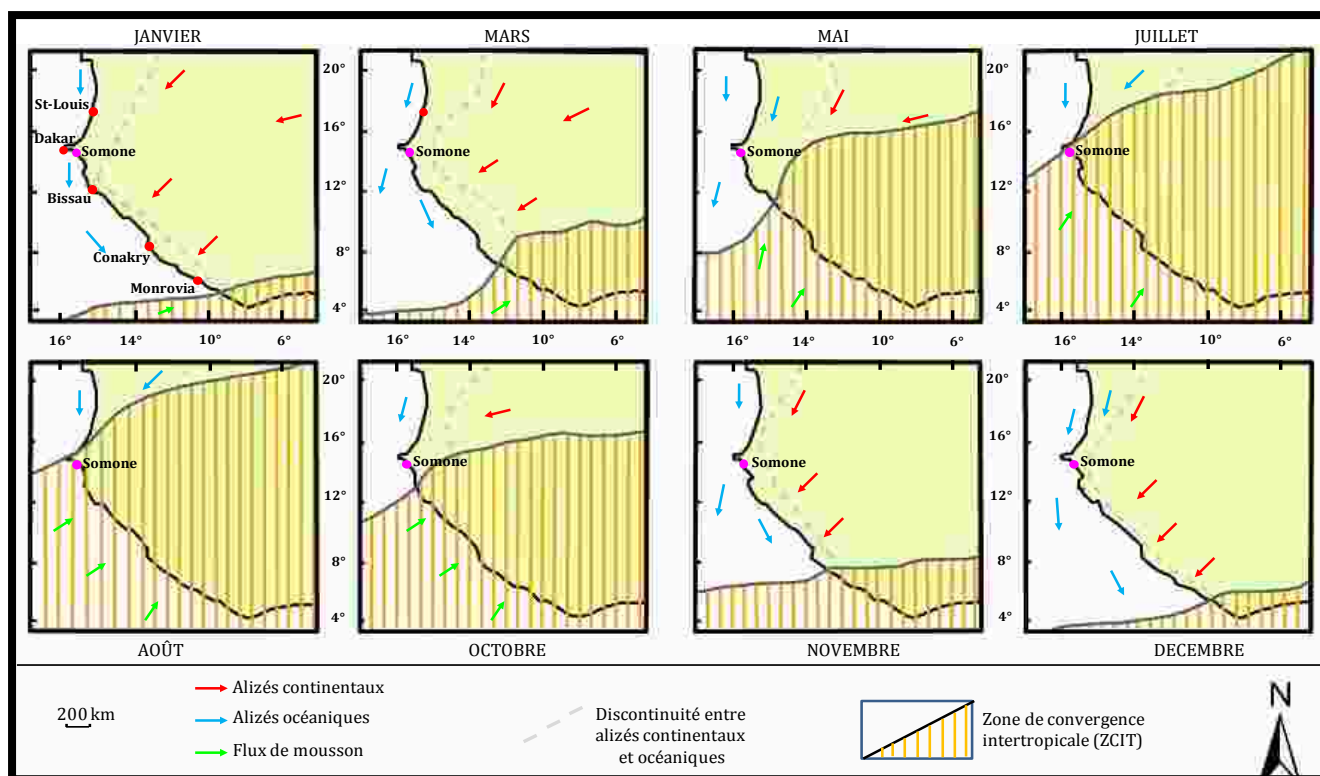


Figure 19: Flux atmosphériques et migration saisonnière de la zone de convergence intertropicale en Afrique de l'Ouest (Leroux 1980).

Mais Ndong J B (1996) a divisé le Sénégal en régions climatiques et placé les rias du Sine – Saloum et leurs bassins versants dans celles de la Petite Côte et de la zone nord-soudanienne. Mais, la situation actuelle déclenchant la longue sécheresse des années 1970, fait que la région de Diourbel se retrouve dans la zone Sud-sahélienne et que cette même zone se rapproche de celle du delta du Saloum qui était dans la région nord-soudanienne.

Selon les figures de Leroux (1980) et de Turmine (2001), le bassin du Saloum et les régions de bordures sont placés dans la zone pluvieuse de juillet à octobre, le reste de l'année, la région est sous la domination des vents d'alizés.

Ces cartes placent le domaine insulaire dans la région climatique littorale et son arrière-pays dans la région nord-soudanienne.

Mais la figure 20 de 2007 (Atlas du Sénégal) sous la direction de Paul Ndiaye divise les îles en deux parties dont la plus grande se trouve dans le domaine Sud-soudanien côtier et l'autre ainsi que son arrière-pays, dans le sud soudanien continental. Dans le cadre de la Petite Côte, en particulier et de l'espace d'étude en général, l'hivernage qui était jadis précoce, accuse un certain retard et devient de plus en plus court durant ces dernières décennies.

C'est l'idée avancée par Ndong J B (1996) en disant que sur « la Petite Côte et le Sine Saloum qui bénéficient de l'alizé maritime, la saison des pluies n'y commence qu'en juin avec quelques averses issues des lignes de grains affaiblies ; ce début tardif explique le report en juin du maximum thermique (36°C) et la fin de la saison des pluies est également précoce, par contre l'intervention au cœur de l'été, de la partie active du FIT assure à cette région un total annuel de précipitations équivalent à celui de la région de Tambacounda (600 à 800 mm) ». Nous comprenons par-là, que non seulement l'hivernage est toujours tardif, mais aussi, n'eût été l'intervention du FIT, le volume d'eau précipité aurait été comparable à celui enregistré en plein Sahel. Finalement, le constat de déficit s'est avéré.

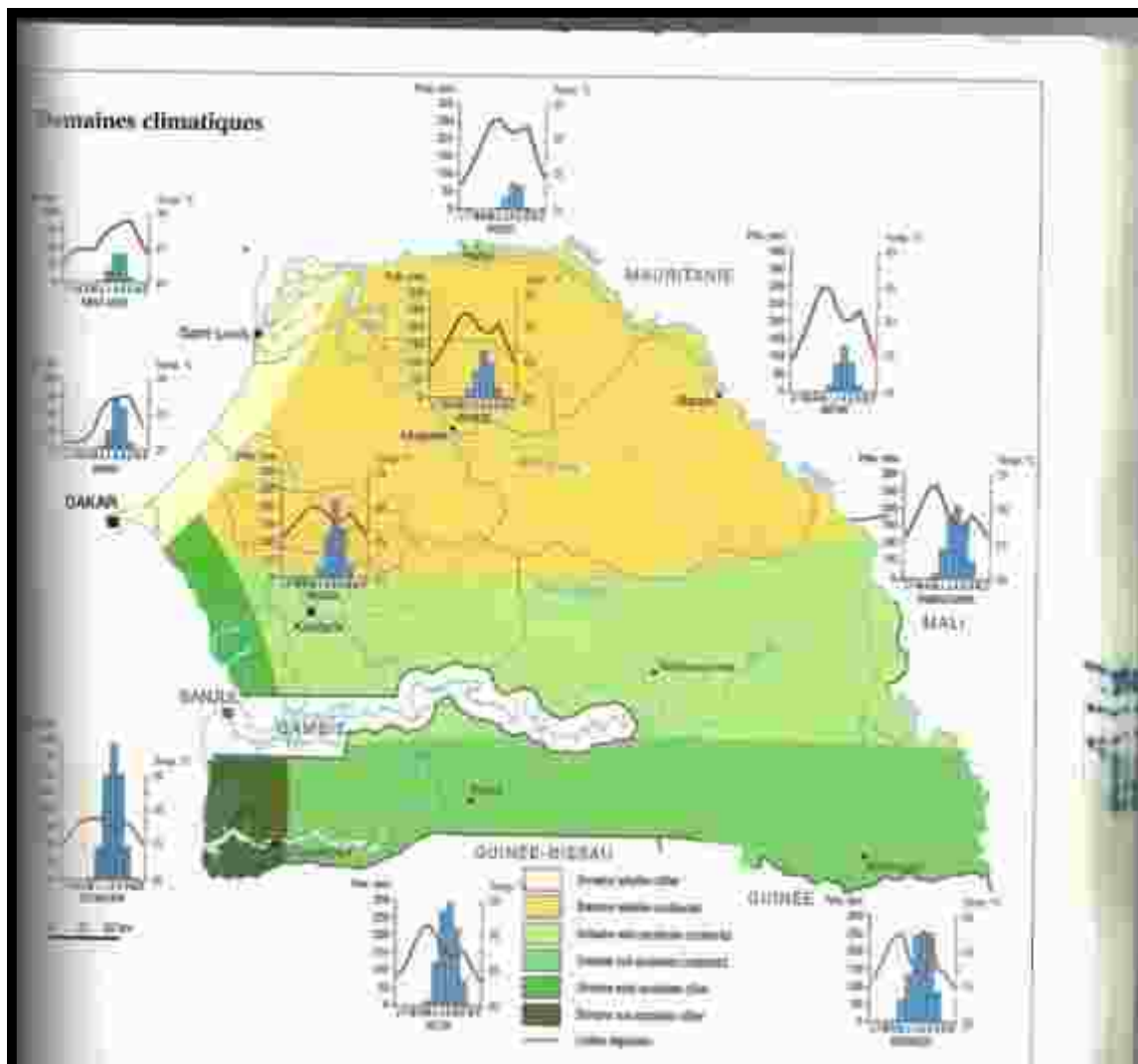


Figure 20: domaines climatiques (2007)

Sous la direction de Paul Ndiaye (2007)

3.3. Les éléments du climat

3.3.1. Les vents

Les éléments du climat sont appréciés au travers des vents, des précipitations, des températures, de l'évaporation et de l'humidité relative dans la série 1983 - 2012 soit 4 ans avant la rupture en 1987 de la flèche de Sangomar. Les données de 7 stations ont été analysées (cf. tabl 16).

Tableau 16: coordonnées des stations climatiques dont les données sont utilisées

Stations	longitude	latitude	altitude	Début observations
Mbour	16°58 W	14°25 N	10m	1931-
Joal	16°51 W	14°10 N	3m	1943
Fatick	16° 24 W	14°20 N	5m	1919
Foundiougne	16° 28 W	14°25 N	6m	1919
Sokone	16° 23 W	14°53 N	5m	1963
Kaolack	16° 04 W	14°08 N	6m	1918
Kaffrine	15° 33 W	14°06 N	11m	1922

Les variations climatiques en régions tropicales et équatoriales sont donc en partie, liées aux variations d'activité de ce flux de mousson » (Mahé, 1993). D'où la nécessité de voir les fluctuations des différents flux dans les principales stations de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum et des régions de bordures. Sont analysés les vents des stations de Mbour, Fatick et Kaolack respectivement à l'Ouest, au Nord et à l'Est de la RBDS. Cette analyse se base sur les vitesses maximales et les directions dominantes.

Leur efficacité morphologique est fonction de leur célérité mais aussi du diamètre du sédiment mobilisé. Mais pour l'évolution des végétaux, le seuil de compétence est seulement de 2m/s dans la mesure où « les vitesses supérieures à 2m/s, ralentissent puis inhibent certaines fonctions physiologiques » Giffard (1974).

Selon Combeau, (1977) « les particules entraînées les premières sont celles dont le diamètre est compris entre 0,1 et 0,5 mm et il faut pour cela un vent de 15 km /h à 30 cm de hauteur. Il pense que « pour les particules plus grosses, le vent doit atteindre ou dépasser 20 km /h ».

Les données analysées concernent ici les stations synoptiques de Mbour (14°25N -16°58W au NW du delta du Saloum, de Fatick 14°20N et 16°24W, au Nord et sur le bolong du Sine, de Kaolack 14°08N-16°04W à l'Est de l'estuaire et sur la ria du Saloum.

3.3.1.1. Mbour (coordonnées de la station : 14°25'173''N/16°57'938''W)

D'un point de vue anémométrique général, trois grandes situations ont été dégagées sur la zone littorale par Faye M. (1978), Barbey C. (1982), Niang I Diop (1995) et Diaw A.T (1997) :

- de novembre à février, prédominance des alizés maritimes de secteur NW (60 % des vents) avec des vitesses de 5 à 6 m/s ;
- de mars à mai, installation des alizés maritimes continentalisés de secteur N à NE (60 % des vents) avec des vitesses maximales de 6,2 m/s en avril ;
- de juillet à septembre, prédominance des vents de secteur W (inférieur à 4,5m/s) avec des coups de vitesse moyenne de 20 à 25 m/s et qui accompagnent les lignes de grains ;

Selon les auteurs, presque tous les vents sont morphologiquement efficaces.

Nos analyses montrent que pour la période choisie, (1983 à 2012) se dessinent trois grandes situations :

- de janvier à avril, les vents d'Est avec plus de 67 % (janvier 93 %) ; ils sont de secteurs NE et Est (janvier 60 %) (Mars 77 % E) et de célérité variant entre 6m/s en Février 1982 à 1,5 m/s en avril 1991. Les plus grandes vitesses sont observées entre 1986 et 1989 : 6,2 m/s janvier 1986 ; 6,3 m/s mars 1986 ; 6,2 m/s en décembre 1986 ; 6,2 m/s en février 1987 ; 7 m/s en mars et 6 m/s en avril de la même année. Ainsi de 1986 à 1990, tous les vents d'Est ont une vitesse maximale supérieure à 5,7 m/s ; d'où leur efficacité morphologique.

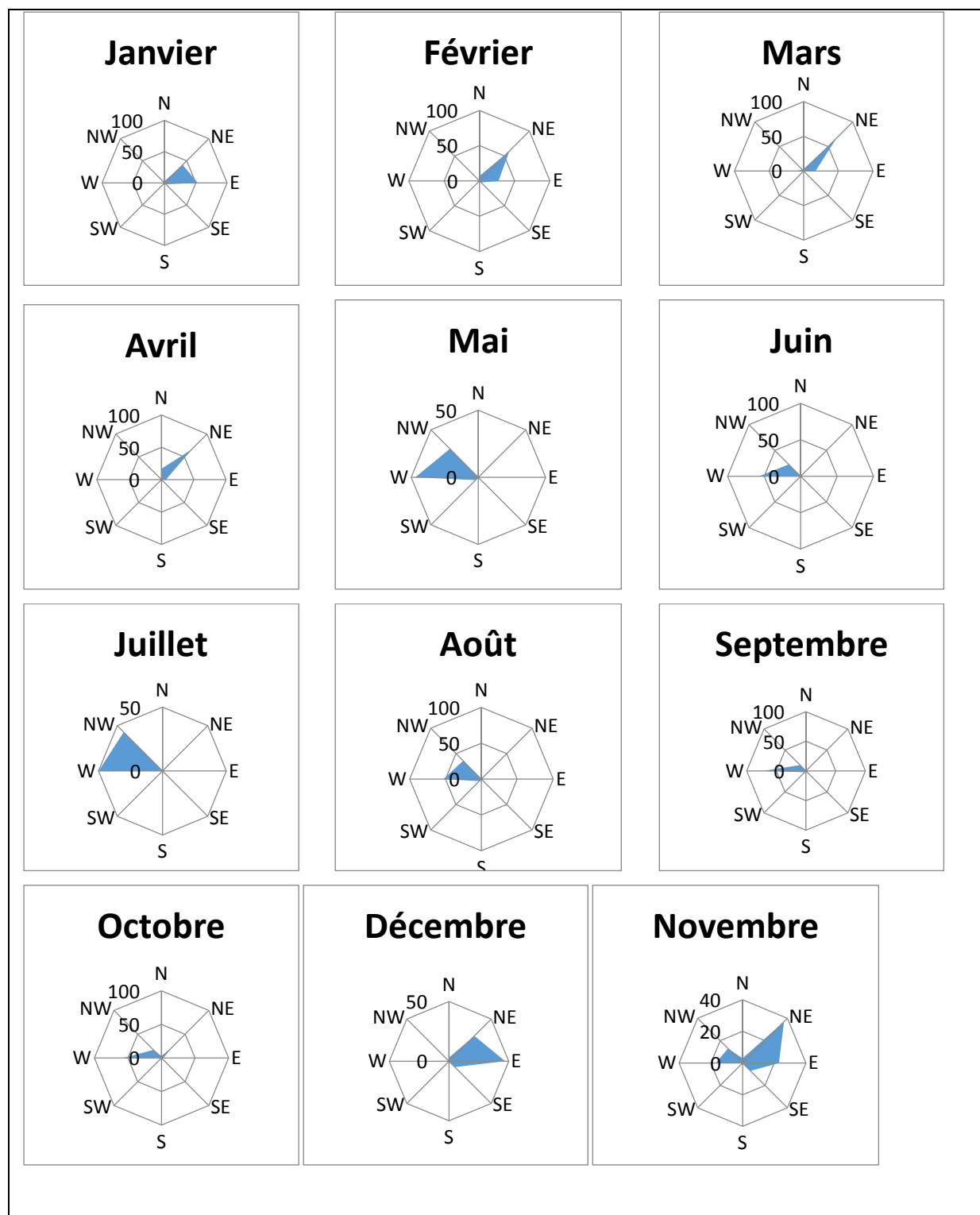
Il s'agit des alizés continentaux et maritimes. La décennie 1991- 2000 a connu une baisse de compétence avec un maximum de célérité inférieur à 5 m/s ; baisse qui se confirme entre 2001 et 2005 avec des vitesses inférieures à 4 m/s ;

- de mai à octobre, prédominent les vents d'Ouest avec plus de 70 % du total : 93 % en mai, 100 % en juillet, dans deux principales directions Ouest 96,5 % et 96 % respectivement en août et septembre Nord- ouest 46,5 % et 55,3 % en juin et juillet. Ce sont des vents de mousson. Les célérités maximales se remarquent en mai 1986 5,4 m/s et en mai 1987 5 m/s.

Les deux dernières décennies ont connu une décroissance en dents de scie ;

- de novembre à décembre, soufflent les vents d'Est 64,7 % et 89,7 % respectivement à partir de deux principales directions Nord et Nord- Est avec des vitesses maximales variables :

6 m/s en décembre 1985, 6,2 m/s à 6,9 m/s en décembre 1987 et 1988. Mais à partir de 1990, se note une baisse de célérité allant jusqu'à 1,1 m/s en novembre.



Graphique 1: Directions moyennes mensuelles des vents de la station de Mbour de 1983 à 2012.

Tableau 17: directions et fréquences des vents en % ; station de Mbour de 1983 à 2012

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Vents d'Est	Vents d'Ouest
jan	7,4	26	60					7,4	93	8
fév.	7,7	43	34,6	4				11,3	89	11,5
mars	7,8	46,4	23,3				7,9	15,3	77	23,2
av.	30	30	7,5				19	14,8	67	33,5
mai	4	4					54	39	7,7	93
juin	3,8						50	46,5	4	96,5
juillet						3,6	41,6	55,3	0	100
août	4					7,6	64,5	25	4	96,5
sep	4,4				8,5	4,4	79,1	4,4	4,4	96
oct.	4	15	7,6				37,5	37,5	26	74,3
nov.		26	35,7	3,4			19,6	16,2	64,7	35,7
déc.		32,3	53,8	4			7,1	4	89,5	10,9

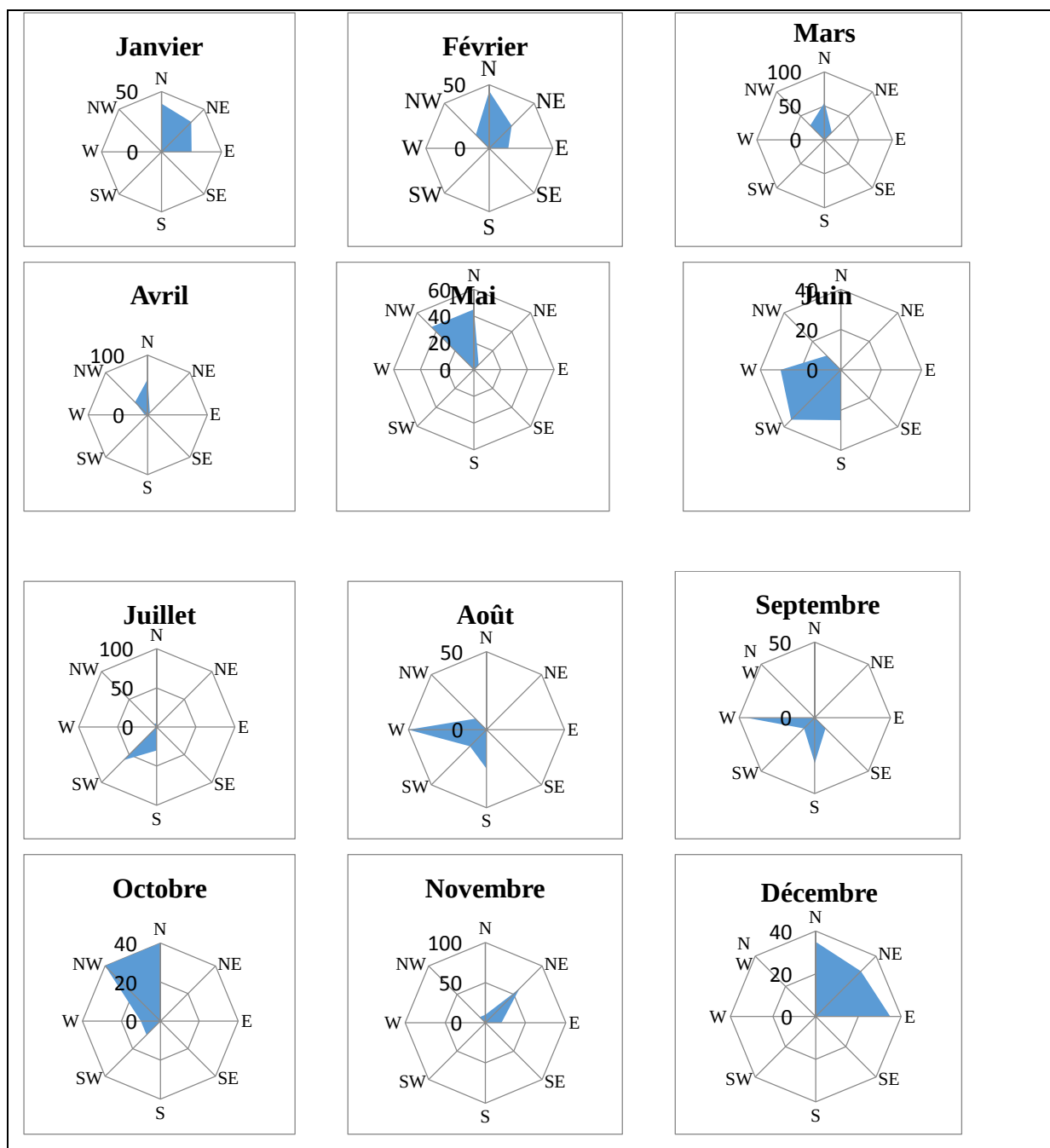
3.3.1.2. Fatick (coordonnées de la station : 14°20'724''N/16°24'155''W)

La station de Fatick nous révèle encore 3 grandes situations :

- de janvier à avril soufflent les vents d'Est de 100 % à 66,9 % du total avec prédominance pour le Nord 55 % en février, 70 % en mars, 66,9 % en avril, suivi de l'Est, 36,6 % en janvier et 27,4 % en février. Les vitesses varient entre 5,4 m/s en mars 1993 et 1,1 m/s en février 2001. De la direction Nord soufflent les vents de plus grande force 5,4 m/s à 4,4 m/s ;
- de mai à octobre, viennent les vents d'Ouest avec plus de 63,8 % ; 100 % en août, prédominance du secteur SW ; 82 % en Juin, 87,7 % en juillet et 42 % pour la direction Ouest. Ces vents sont de moyenne efficacité morphologique en raison de leur vitesse maximale en deçà de 5 m/s ; 4,9 m/s en mai 1993 et 4,4 m/s en Juin de la même année : c'est la mousson. ;
- En novembre- décembre, reviennent les vents d'Est à 100 % avec prédominance du secteur nord 54,7 % en novembre, et de l'Est 62,6 % en décembre. Mais ils sont de faible célérité : de 2,7 m/s en novembre 1993, elle passe à 0,7 m/s en novembre 1994.

Tableau 18: Fréquences des vents en % ; station de Fatick de 1993 à 2012

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW		Vents d'Est	Vents d'Ouest
jan	27,5	36,6	36,6							100	0
fév.	55	9,3	27,4		92					91	9,3
mar.	70	11	11		11					90	11
av.	66,9							33,5		66,9	33,5
mai	42						20	42		42	60
juin					11	82		11		0	100
jllt						87,7		12,5		0	100
août				11	11	30	42	11		11	90
sep				9,4		27,3	36,3	27,3		9,4	91
oct.	27,5		9,4			18,5	9,4	36,5		36,6	63,8
nov.	54,7	9,3	36,6							100	0
déc.	37,4		62,6							100	0



Graphique 2: Directions moyennes mensuelles des vents de la station de Fatick de 1993

3.3.1.3. Kaolack (coordonnées de la station : 14°09'023'N/16°04'545''W)

La Région de Kaolack présente aussi trois cas de figure :

- de janvier à février prédominent les vents d'Est avec plus de 80 % du total dans une direction dominante Nord : janvier 45,8 %, février 56,8 %, mars 35,5 %, suivie du Nord/est ; janvier 36,8 %. Les vitesses maximales s'observent en février 1989 (4,7 m/s Nord), en janvier 1998 4,6 m/s Nord- est ;
- de mars à octobre c'est la période des vents d'Ouest : 100 % en juin-juillet, 94,14% en septembre- octobre et 77,5 % au mois de mai. La direction Ouest prédomine 86,3 % en juin, 77,5 % en juillet, 76,8 % en septembre ; suivie de la composante NW 52 % en avril. Mais les vitesses sont partout en deçà de 5 m/s : 4,8 m/s, 4,4 m/s, 4,1 m/s, et toutes les directions sont d'Ouest d'avril à juillet 1988 ;
- la dernière situation novembre- décembre a connu les vents d'Est 59 % et 64,7 % respectivement avec prédominance du secteur nord 47,4 % suivi du NE et de l'Est 29,7 %, et les plus faibles vitesses : 0,9 m/s en décembre 2000 et 3,7 m/s en décembre 2005. Même si tous ces vents n'ont pas l'efficacité morphologique requise pour mobiliser toutes sortes de particules, ils peuvent induire deux phénomènes : les litho- météores et les brises de terre et de mer. Ces litho- météores peuvent s'agglutiner sur les unités morphologiques.

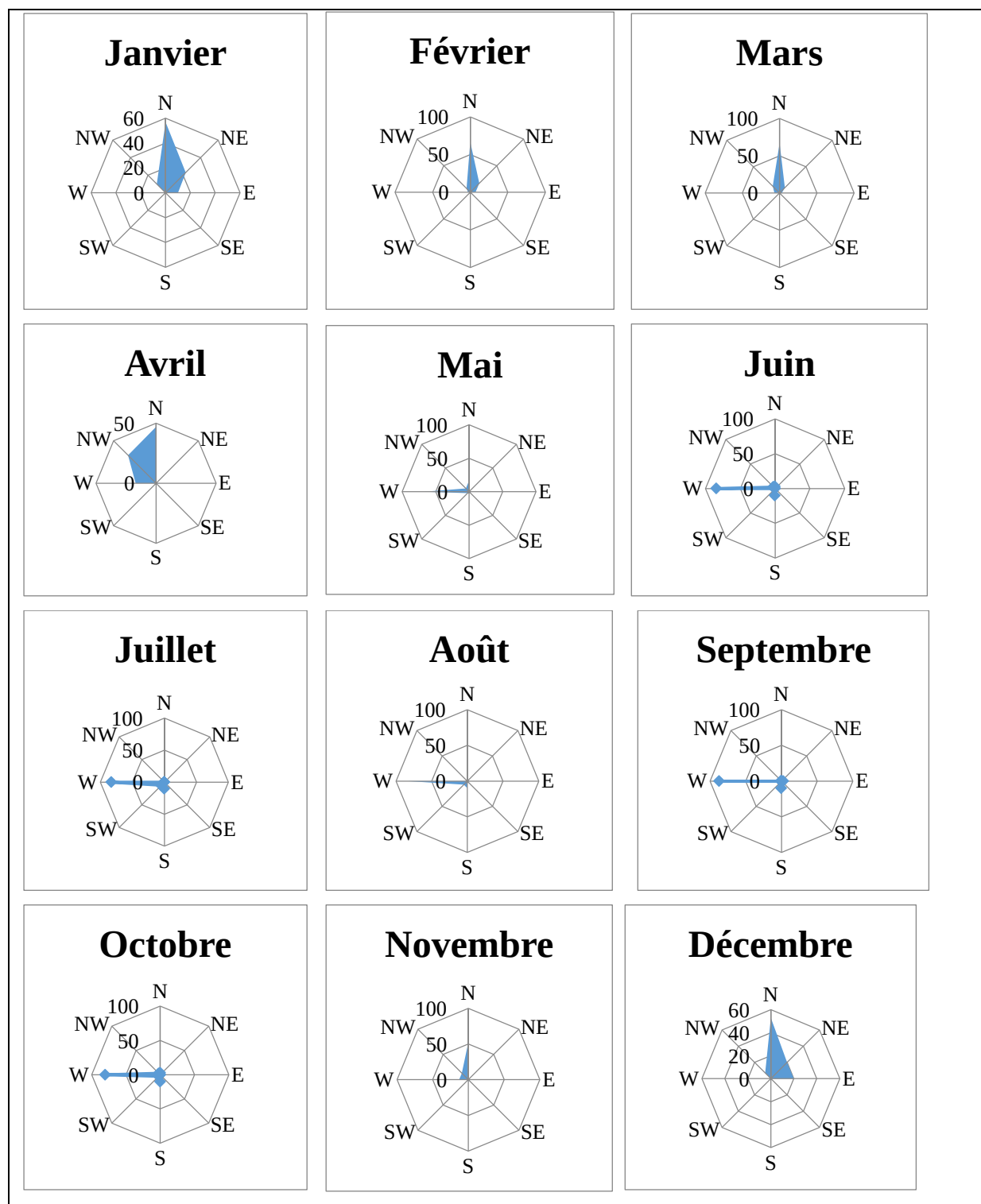
Et selon El hadji Salif Diop (1986) « la brise de terre qui souffle la nuit, contribue à rendre plus efficaces les directions des vents variant du Nord à l'Est, Nord- est ; notamment en saison sèche. La brise de mer elle, intervient dans l'alternance et le renforcement des vents de mousson, plus particulièrement au Sud de la côte sénégalaise, ce qui met l'accent sur la prédominance de la direction SSW, W, et NW ».

Enfin, tous les vents ayant une vitesse de plus de 2 m/s ont des effets mécaniques négatifs sur la mangrove dont la dégradation s'accélère, et les vents de mousson, même de faible célérité apportent les précipitations au Sénégal et particulièrement dans l'aire d'étude.

Tableau 19: Fréquences des vents en % : station de Kaolack de 1983 à 2012

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Vents d'Est	Vents d'Oust	
jan	45,8	36,8	5					14	86,8	14	
fév.	56,8	22	5				5	13,4	82,8	17,8	
mar.	35,5	5	5		5		25,8	25,5	45,6	52	
av.	27,6					23	23	52	27,5	73	
mai	18,5		5			5	59,4	14	23	77,5	
juin					14		86,3		0	100	
juil.					14	9,4	77,5		0	100	
aout		9,4			18,4	5	68,5		9,4	91	
sep			6		18		76,8		59	94,14	
oct.	6				17,6	5,9	71		59	94,14	
nov.	47,4		12		6		29,7	6	59	41,5	
déc.	6	29,7	29,7				12	23,7	65	35,7	

Dans l'ensemble et « d'une manière générale, la vitesse des vents est plus forte dans les régions littorales qu'à l'intérieur du continent, et même au nord du Sine-Saloum par la permanence des alizés maritimes en saison sèche » Michel P (1973).



Graphique 3: Directions moyennes mensuelles des vents de la station de Kaolack de

3.3.2. Variation interannuelle de l'insolation en heures au niveau des trois stations

L'insolation est à son maximum durant la saison non pluvieuse car la nébulosité est faible.

La durée relativement courte de l'hivernage dans ces trois (3) zones (environ 5 mois) explique la longue durée de l'insolation. La durée maximale de l'insolation est par ordre décroissant de 3559 à 8766 heures en 2006 à Mbour, 3216 à 8766 heures à Kaolack et 2939 à 8766 heures en 1994 Fatick. Malgré quelques différences dues à la situation en latitude et au domaine climatique, l'analyse des données climatiques des stations de Mbour, de Fatick et de Kaolack permet de noter :

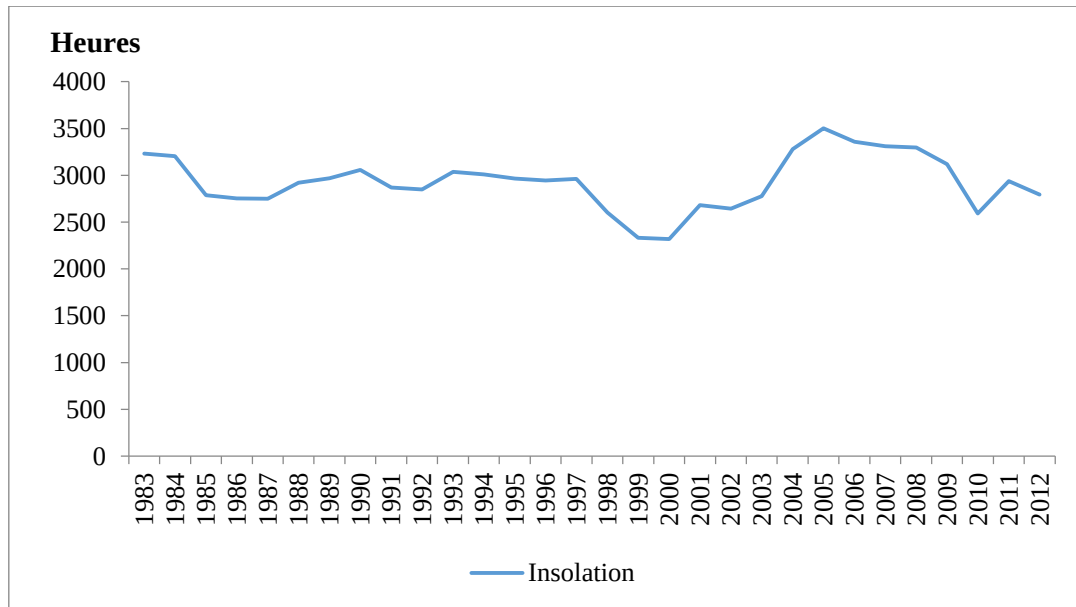
- une grande variabilité interannuelle des éléments du climat ;
- une tendance globale à la hausse ;
- des similitudes quant à la tendance globale de l'évolution des températures moyennes ;
- de faibles écarts quant aux valeurs de l'insolation ;
- ne humidité relative partiellement faible bien que plus importante à Mbour.

Tableau 20: Variation de l'insolation en heures au niveau des trois stations (h)

Mbour										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	3231	3204	2787	2752	2749	2922	2968	3058	2868	2850
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	3037	3010	2965	2946	2962	2903	2332	2320	2680	2643
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	2777	3281	3501	3559	3309	3298	3119	2591	2936	2795
Fatick										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	Pas de données								2771	2866
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	2920	2939	2946	2853	2796	2559	2710	2704	2748	2691
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	2626	2501	2337	2817	2629	2521	2723	2616	2798	2550
Kaolack										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	2959	3081	2880	2977	2987	3124	3105	3216	3149	3116
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	3142	3146	3154	3141	3140	3145	2949	3018	3166	3040
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	3172	2809	2820	2912	3109	3096	3047	2742	2765	2695

3.3.2.1. À l'Ouest: Mbour

Le graphique ci-dessous représente l'insolation moyenne annuelle à la station de Mbour de 1983 à 2012. Elle est caractérisée par une évolution en dents de scie avec des valeurs qui changent d'une année à l'autre. Toutefois, nous constatons une évolution unimodale avec un maximum et un minimum.

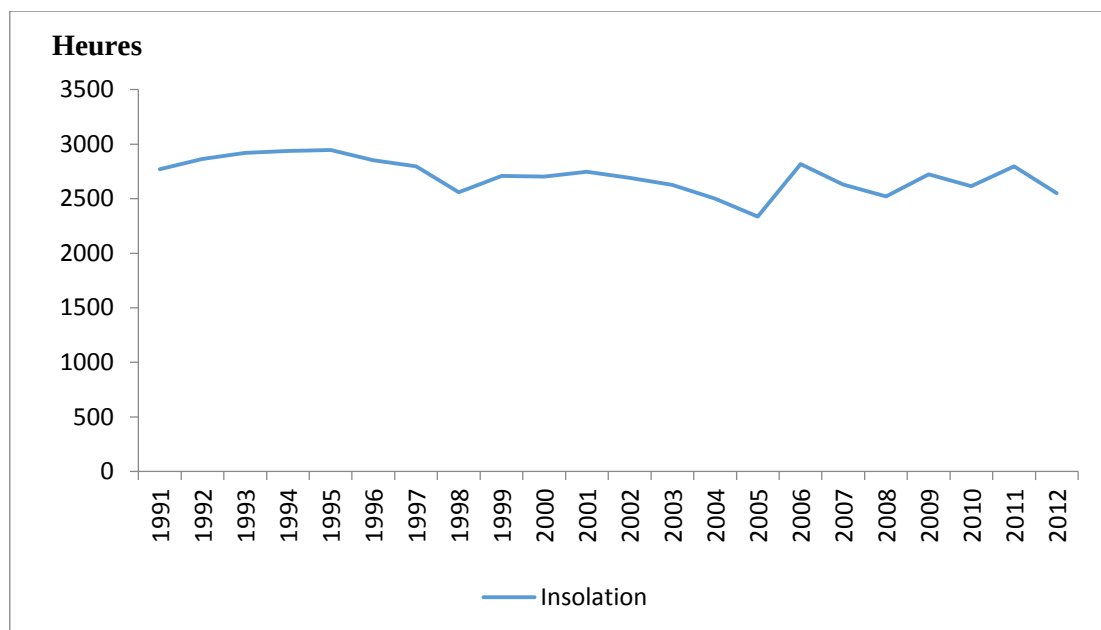


Graphique 21: Variation interannuelle de l'insolation de la station de Mbour

3.3.2.2. Au Nord : Fatick

La variation moyenne interannuelle de l'insolation peut être scindée en deux périodes :

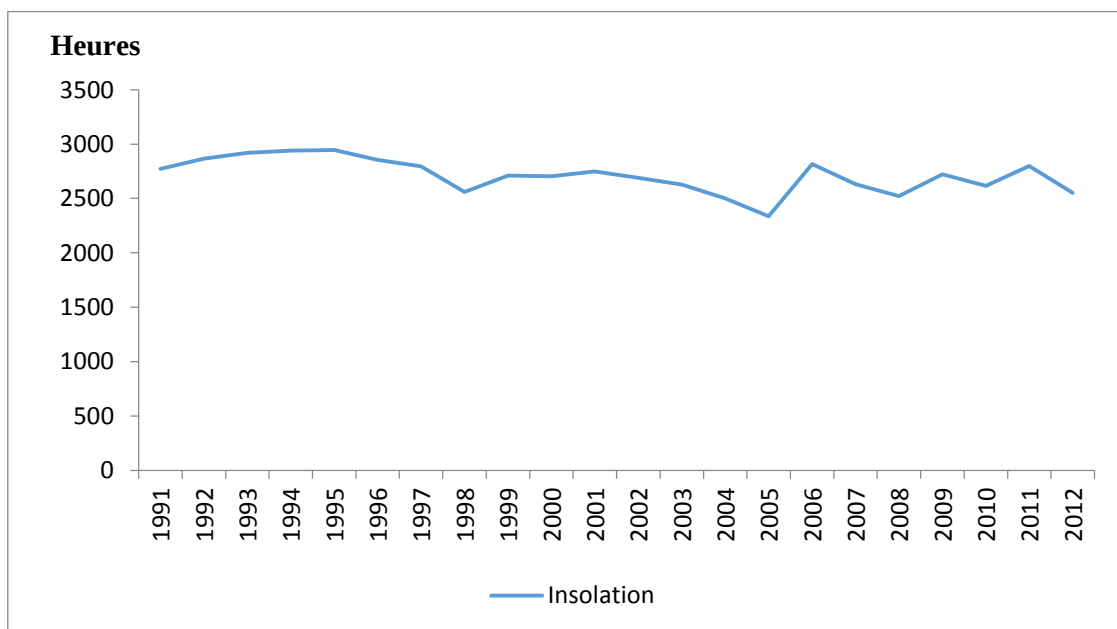
- de 1991 à 2003 où on constate une baisse progressive de l'insolation malgré quelques années intermédiaires marquées par une hausse. Cette période contient l'année à laquelle le maximum d'insolation est enregistré avec 2946 heures (1995).
- de 2004 à 2012, l'insolation marque une évolution en dents de scie. Le minimum est noté en 2010 avec 2591 heures.



Graphique 4: Variation interannuelle de l'insolation de la station de Fatick de 1991 à 2012.

3.3.2.3. À l'Est: Kaolack

L'insolation montre une évolution en dents de scie exceptée la période 1994 à 1997 où on note une légère variation de la courbe. Le maximum de la série est enregistré en 1990 avec 3216h tandis que le minimum est noté en 2012 avec 2695h.



Graphique 5: Variation interannuelle de l'insolation à la station de Kaolack de 1983 à 2012.

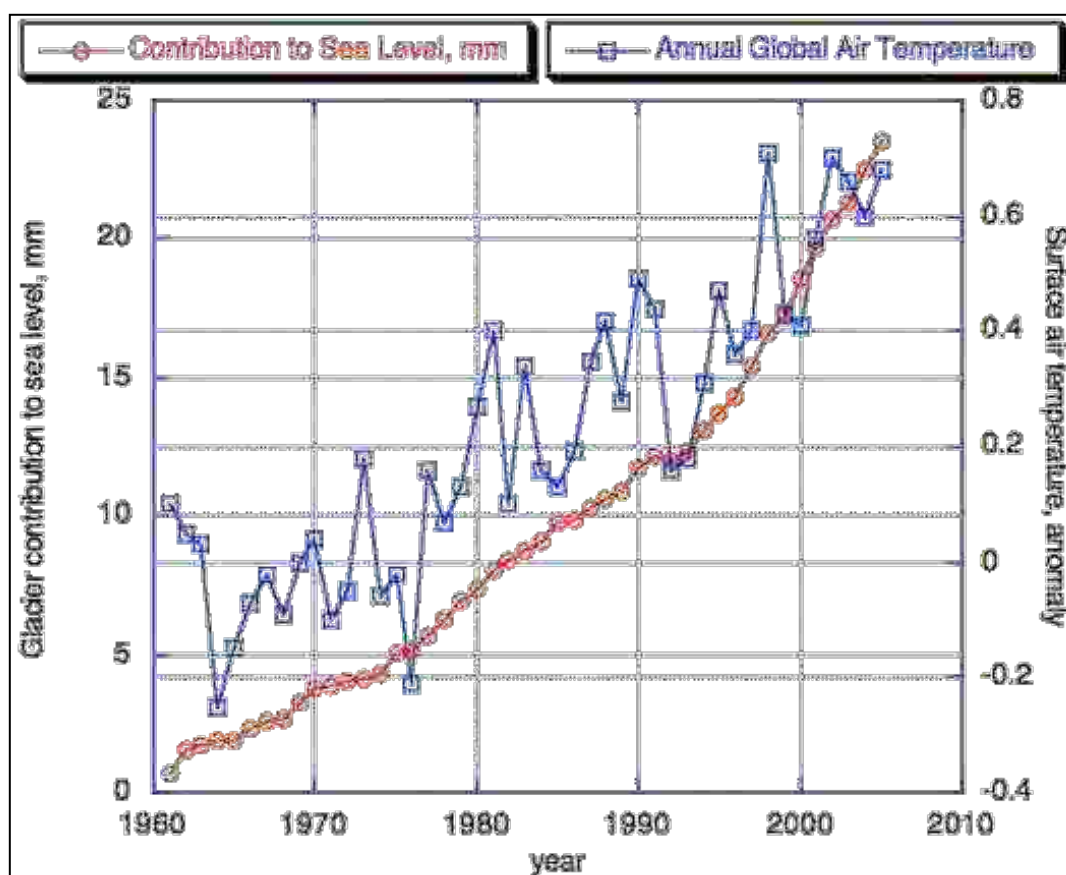
3.3.3. Les températures

Pour rappel, au niveau mondial, les températures ont montré une hausse variant selon les latitudes. Ces idées sont confirmées à partir de la source <http://www.ncdc.noaa.gov> du National Climatic Data Center qui « indique que les résultats préliminaires montrent que le réchauffement planétaire a battu de nombreux records, en janvier 2007 :

*Température moyenne globale de la Planète :

- la température moyenne globale de janvier 2007 (continents + océans), a dépassé de + 0,85° C la moyenne des températures observées au 20^{ème} siècle (précédent record : janvier 2002, avec un réchauffement de +0,71° C).
- la température globale moyenne sur les continents a aussi battu un record, avec un réchauffement de + 1,89° C (précédent record : janvier 2002, avec un réchauffement de +1,44°C) ».

Le graphique 6 retrace l'évolution des températures globales en bleu et leur contribution à l'augmentation du niveau marin général.



Graphique 6: Evolution des températures et leur contribution à l'élévation du niveau marin.

Meier et al (2007)

***Température moyenne globale dans l'hémisphère nord**

- La température moyenne globale de janvier 2007 dans l'hémisphère nord (Continents + océans), a dépassé de + 1,16° C la moyenne des températures observées au 20^{ème} siècle, (précédent record : janvier 2002, avec un réchauffement de +0,93° C).
- La température globale moyenne sur les continents, a aussi battu un record, avec un réchauffement de + 2,28° C (précédent record : janvier 2002, avec un réchauffement de +1,87° C) ».

***Températures moyennes dans l'espace d'étude**

Tout au long de l'estuaire du Saloum, les températures ont évolué différemment selon les stations.

« Les tendances d'évolution des paramètres climatiques montrent une évolution à la hausse des températures de l'ordre de 1,2° C depuis le début du siècle et une réduction de 35 % de la pluviométrie en l'espace d'une génération » (Diagne, 2000). Malgré le décalage régulier de 30 ans entre les dates de mise en service des stations, les températures ont donné une idée de l'évolution temporelle et spatiale du climat le long des villes de l'estuaire du Saloum.

En effet, du littoral à l'intérieur du continent, les accroissements sont réguliers et sont de 1° C environ : fréquences à Mbour 26° C, à Fatick 28° C et à Kaolack 29° C. Les années 2000 sont les plus chaudes dans les trois stations : Mbour 28,32°C (2001), Fatick 29,38° C (2001), Kaolack 30,05° C (2002). De même les années de sécheresse ont vécu des canicules.

Nous les notons à Mbour (27,8° C en 1973), Kaolack (27,7° C en 1968, 28,6° C en 1973, 28,1° C en 1983). Elles sont tirées de trois stations dans la trentenaire 1983 - 2012 :

- Mbour à l'Ouest des îles,
- Fatick sur le Sine,
- Kaolack sur le Saloum.

Les températures sont tributaires de la position latitudinale des stations, de la proximité de celles-ci par rapport à l'océan et de la saison.

Ainsi Mbour bénéficie de températures moins élevées dont le maximum tourne autour de 28°C et le minimum autour de 26,4°C.

A Fatick, les températures sont élevées avec un maximum de 29°C et un minimum de 28°C. Les fluctuations interannuelles sont très faibles.

A Kaolack les températures sont plus élevées que dans les autres stations avec un maximum de 29,9°C en 2010 et un minimum de 28,6°C en 1985-1986.

Nous observons une tendance globale marquée par une augmentation des températures de 1983 à 2012.

L'évolution des températures est marquée par des fluctuations interannuelles assez importantes avec une période chaude allant de 1991 à 1998 ; l'année 1998 étant particulièrement chaude (28,2°C à Mbour, 29°C à Fatick et 29,7°C à Kaolack).

Le tableau 21 montre les moyennes annuelles de ces températures

Tableau 21: températures moyennes annuelles des stations

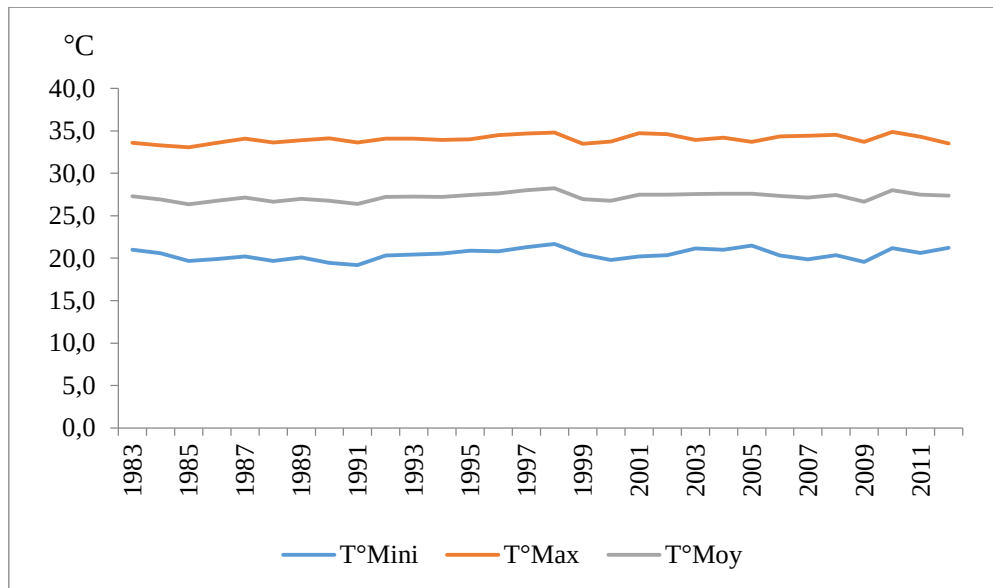
Mbour										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Moy	27,3	26,9	26,4	26,8	27,1	26,7	27,0	26,8	26,4	27,2
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Moy	27,3	27,2	27,4	27,7	28,0	28,2	27,0	26,8	27,5	27,5
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Moy	27,6	27,6	27,6	27,3	27,2	27,4	26,6	28,0	27,5	27,4
Fatick										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Moy	Pas de données								28,2	28,4
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Moy	28,5	28,1	28,1	28,6	29,0	29	28	28,6	29,0	28,9
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Moy	28,7	28,9	29,1	28,6	28,7	29,0	28,5	29,3	28,5	28,3
Kaolack										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Moy	29,5	28,8	28,6	28,6	29,5	29,2	29,0	29,5	29,2	29,4
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Moy	29,4	29,3	29,4	29,5	29,3	29,7	29,0	28,9	29,5	29,8
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Moy	29,3	29,6	29,8	29,6	30	29,7	29,5	29,9	29,7	29,7

3.3.3.1. Mbour à l'Ouest

A Mbour, les températures sont adoucies par l'influence océanique. La moyenne des maximales tourne autour de 33,85° C donnant 13 années chaudes avec deux pics en 1999 et en 2002 ; 35,1° C. Pour les minimales la moyenne est de 19,86° C dont 16 années moins froides.

Le graphique ci-dessous représente la variation interannuelle des températures de la station de Mbour sur une période de 30 ans de 1983 à 2012. Elle est marquée par une évolution en dents

de scie avec des valeurs qui n'atteignent 35°C tout au long de la série. Le maximum est enregistré en 2010 avec 34,9°C tandis que le minimum revient à l'année 2009 avec 19,6°C.



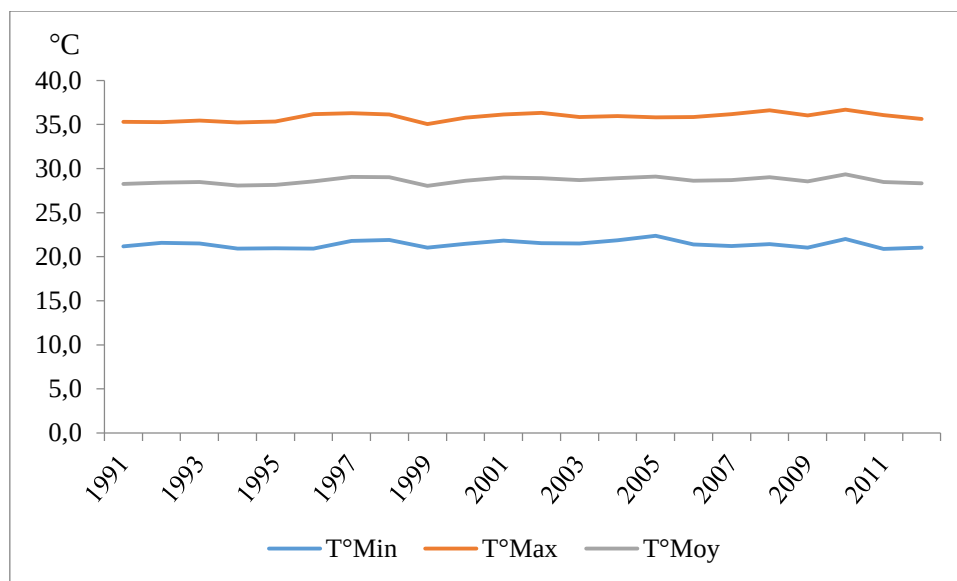
Graphique 7: Variation interannuelle des températures de la station de Mbour de 1983 à 2012.

Nous constatons que les températures maximales n'atteignent guère 40°C tandis que les températures minimales tournent au tour de 20°C. Le maximum de la série est noté en 1998 avec 37,4°C et le minimum enregistré en 1986 avec 21,4°C.

3.3.3.2 .Au nord : Fatick

L'analyse des températures moyennes annuelles de la station de Fatick montre qu'elles sont caractérisées par une évolution bimodale avec deux maxima et deux minima. Un maximum principal enregistré en 2010 avec 36,7°C et un maximum secondaire noté en 2008 avec 36,6°C.

Le minimum principal noté en 1994 avec 20,9°C tandis que le minimum secondaire est enregistré 1999 avec 21°C.



Graphique 8: Variation interannuelle des températures de la station de Fatick de 1991 à 2012

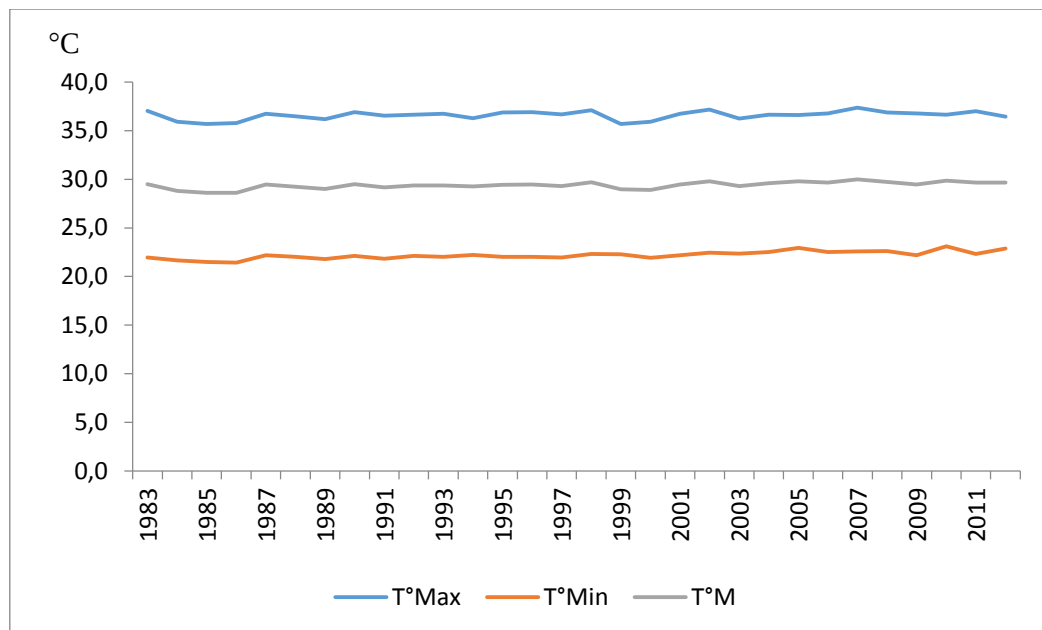
3.3.2.3. À l'Est : Kaolack

La moyenne des températures moyennes annuelles s'élève à 28,99° C occasionnant 22 années plus chaudes dont toutes les années 2000. L'année 1998 avec 30,3° C a été considérée comme la plus chaude de la série.

Les variations sont aussi très faibles et la courbe est bimodale.

- un maximum absolu au mois de mai 31,32° C en pleine saison sèche ;
- un maximum relatif en octobre 30,12° C correspondant à la fin de la saison humide ;
- deux minima en janvier 25,5° C et en août 28,71° C.

L'effet de couloir dû au Saloum a été plus déterminant sur l'effet de continentalité pour les températures presque identiques dans la région de Kaolack.



Graphique 9: Température moyenne annuelle de la station de Kaolack de 1983 à 2012

3.3.4. Evaporation

L'évaporation « est un élément très important » estime Marius C (1984) qui ajoute « au Sénégal en particulier, elle est à l'origine de l'aridité et de la salinisation des zones de mangroves ».

Ce phénomène d'évaporation très complexe serait fonction, d'après Ndong J B (2003) de plusieurs facteurs :

- « -la température, l'humidité relative ;
- la pression et les mouvements de l'air ;
- la forme et la dimension de la surface d'évaporation ;
- l'épaisseur de la lame d'eau, et la teneur de l'eau en sels dissous ».

L'évaporation est fonction de la température de l'air et de son pouvoir hygrométrique. Elle suit un rythme saisonnier. A la faveur des températures, l'évaporation est importante, mais ses valeurs varient en fonction des stations.

Les totaux annuels sont assez faibles à Mbour avec un minimum de 1423 mm en 2009 et un maximum de 1991 mm en 1994. Avec des données lacunaires, les valeurs annuelles de l'évaporation enregistrées à Fatick sont très élevées, les plus élevées des trois (3) stations avec un minimum de 1652 mm en 2004 et un maximum de 2886 mm en 1991 et 1999. La station de Kaolack se caractérise par de grandes fluctuations interannuelles des valeurs de l'évaporation avec un maximum de 2324 mm en 1983 et un minimum de 1544 mm en 2000.

De manière générale, les valeurs de l'évaporation sont assez élevées à Fatick et à Kaolack ce qui s'explique par la durée de la saison sèche plus longue à Fatick, par la continentalité et la persistance de l'harmattan.

Les influences océaniques tempèrent le climat de Mbour et ont une incidence sur les températures moyennes annuelles et donc sur l'évaporation.

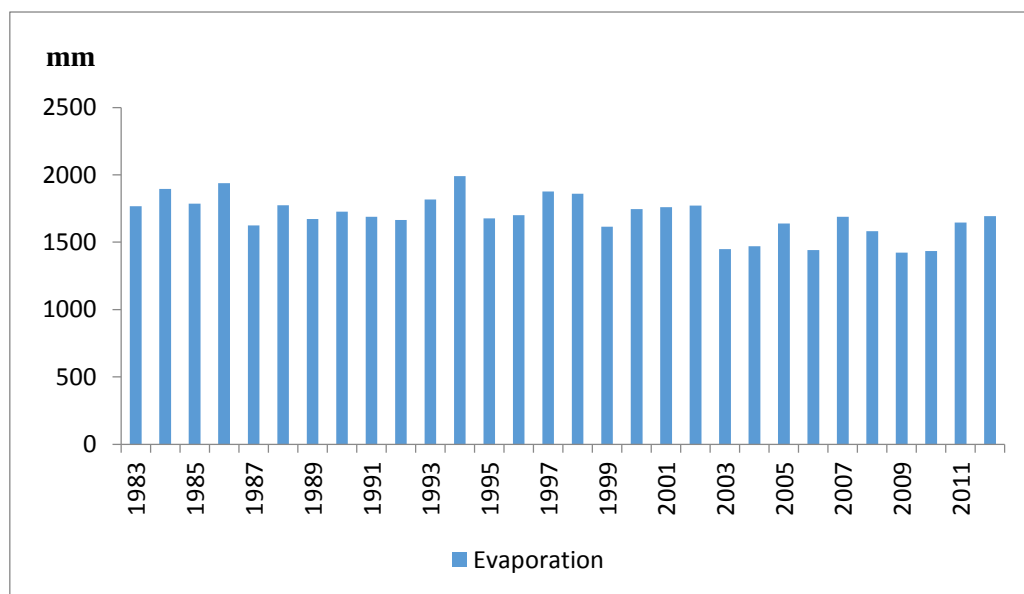
Les données analysées sont tirées de trois stations : une à l'Ouest et deux au centre sur les rias du Sine et du Saloum.

Tableau 22: évaporation interannuelle dans les trois stations de 1983 à 2012 (mm)

Mbour										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	1767	1897	1785	1940	1625	1774	1673	1727	1690	1666
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	1818	1991	1678	1701	1877	1859	1616	1746	1760	1772
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	1449	1471	1639	1442	1690	1581	1423	1435	1647	1693
Fatick										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	Pas de données								2886	2693
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	2798	2717	2483	2481	2378	2469	2886	2803	2750	2688
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	2603	1652	1941	1777	2199	2019	2049	1903	1927	2028
Kaolack										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	2324	2115	2010	2079	1773	2009	1813	1836	1770	1803
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	1960	1815	1972	1941	1724	2022	1645	1544	1639	1732
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	1650	1845	1775	1734	2103	1968	1856	1866	2013	2110

3.3.4.1. À l'Ouest: Mbour

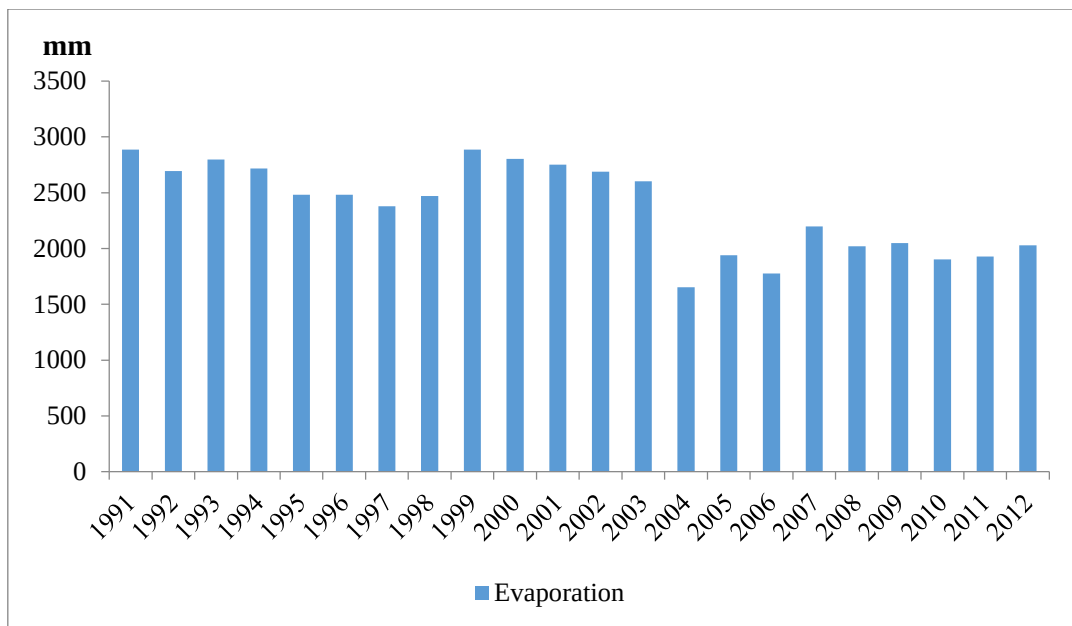
L'analyse de l'évaporation moyenne annuelle à la station de Mbour montre une évolution contrastée d'une année à l'autre. Ses fluctuations dépendent généralement de l'insolation, de la température et des vents. Le maximum de la série est noté en 1994 avec 1991 mm tandis que le minimum est enregistré en 2009 avec 1423 mm.



Graphique 10: Variation interannuelle de l'évaporation Piche de la station de Mbour de 1983 à 2012.

3.3.4.2. Au Nord : Fatick

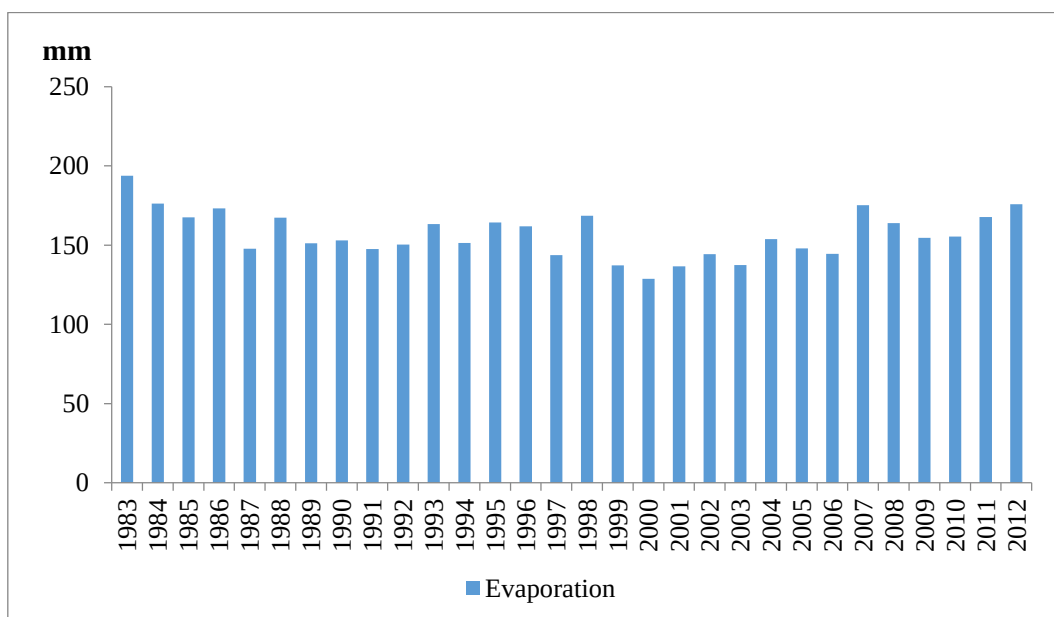
Le graphique ci-dessous représente l'évolution moyenne interannuelle de l'évaporation à la station de Fatick. Le maximum d'évaporation est enregistré en 1991 et en 1999 avec 2886 mm tandis que le minimum est noté en 2004 avec 1652 mm.



Graphique 11: Variation interannuelle de l'évaporation de la station de Fatick de 1991 à 2012.

3.3.4.3.À l'Est: Kaolack

L'examen de ce tableau N° 23, a permis de souligner que l'évaporation a été importante durant les années 2000 et que le bilan de l'eau était surtout négatif vu les forts totaux, malgré les lacunes constatées. La moyenne sur 27 ans s'élève à 2516,11mm donnant 21 années à valeur inférieure.



Graphique 12: Evaporation moyenne annuelle de la station de Kaolack de 1983 à 2012.

L'évaporation moyenne annuelle de la station de Kaolack de 1983 à 2012 connaît une variation en dents de scie. Le maximum est noté en 1983 avec 2324 mm et le minimum en 2000 avec 1544 mm. De 1983 à 2000 on note une baisse progressive malgré certaines années intermédiaires marquées par une forte évaporation.

Globalement, la forte aspiration climatique constatée dans toutes les stations, peut influencer négativement sur l'écoulement superficiel et expliquer en partie la faiblesse des apports d'eau douce dans les îles et les régions de bordures. Cependant, la baisse de l'évaporation durant certaines périodes, peut permettre un développement optimal de certaines plantes comme les céréales, particulièrement le riz dont quelques "Faros" (rizières) subsistent encore le long du Sine à Fatick.

3.3.5. L'humidité relative

L'humidité relative ou degré hygrométrique, ou humidité atmosphérique est fonction inverse de la température. « Lorsque l'humidité élevée coïncide avec un abaissement très sensible de la température au niveau du sol, se forment de fines gouttelettes de la rosée ; elle se dépose pendant la nuit et au petit matin. Un vent très faible de 1 m/s serait plus favorable à la production de la rosée » (Michel P 1973).

L'évolution de l'hygrométrie est fortement tributaire de la saisonnalité climatique. Les valeurs d'humidité relative les plus élevées sont enregistrées pendant la saison des pluies à la faveur des masses d'air humides de mousson.

L'humidité relative se caractérise par une grande variabilité interannuelle et fluctue en fonction des stations avec Mbour qui en possède les valeurs les plus élevées avec un maximum de 70% en 1984 et en 1985. La plus faible valeur s'observe dans la station de Fatick avec un minimum de 28% en 2012. La station de Kaolack possède quelques similitudes avec Fatick même si les valeurs de l'humidité relative y sont plus élevées.

Dans l'aire d'étude, où les rosées sont fréquentes, les données concernant l'humidité relative maximale de trois stations ont été considérées :

- au Nord-ouest ; Mbour
- au centre Fatick sur le Sine et à l'Est, Kaolack sur le Saloum

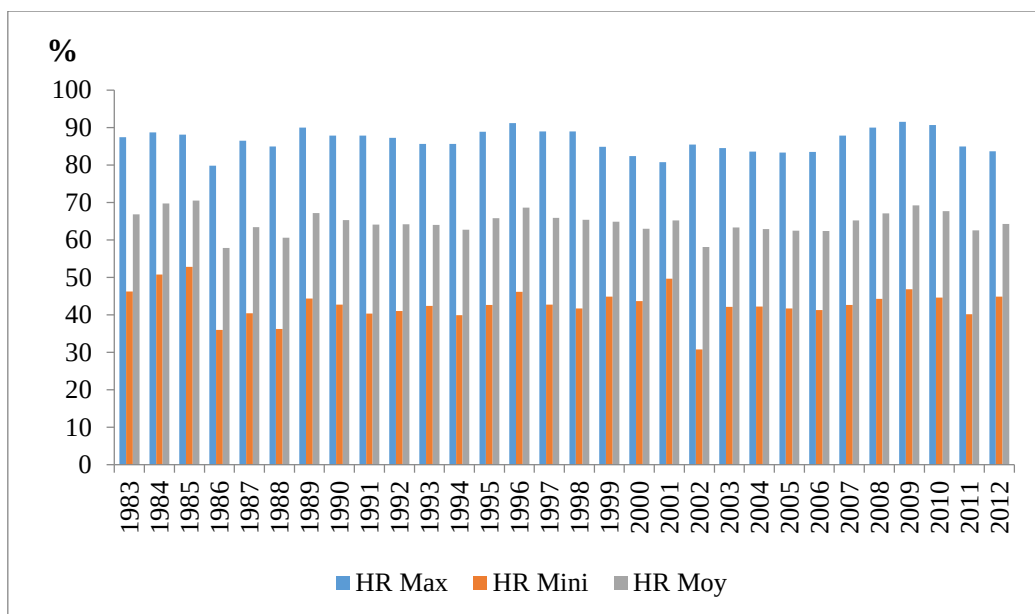
Tableau 23: évolution de la moyenne annuelle de l'humidité relative dans les trois stations de 1983 à 2012 en %

Mbour										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Moy	67	70	70	58	63	61	67	65	64	64
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Moy	64	63	66	69	66	66	65	63	65	58
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Moy	63	63	63	62	65	67	69	68	63	64
Fatick										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Moy	Pas de données								55	59
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Moy	57	55	56	57	52	56	57	57	61	61
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Moy	58	58	62	60	54	56	58	60	28	28
Kaolack										
Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Moy	51	51	53	54	57	56	58	58	59	58
Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Moy	56	56	56	56	56	53	60	61	62	59
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Moy	61	60	62	60	56	56	58	62	59	58

3.3 .5.1. Mbour

L'humidité relative de la station de Mbour de 1983 à 2012 est caractérisée par une évolution interannuelle très contrastée. Nous constatons que les moyennes annuelles sont rarement en dessous de 60%. Le caractère littoral joue un rôle essentiel dans cette variabilité interannuelle du fait qu'elle est balayée pendant une bonne partie de l'année par l'alizé maritime.

Le maximum de la série est noté en 2009 avec 69% pendant que l'année 2002 enregistre le minimum avec 58%.

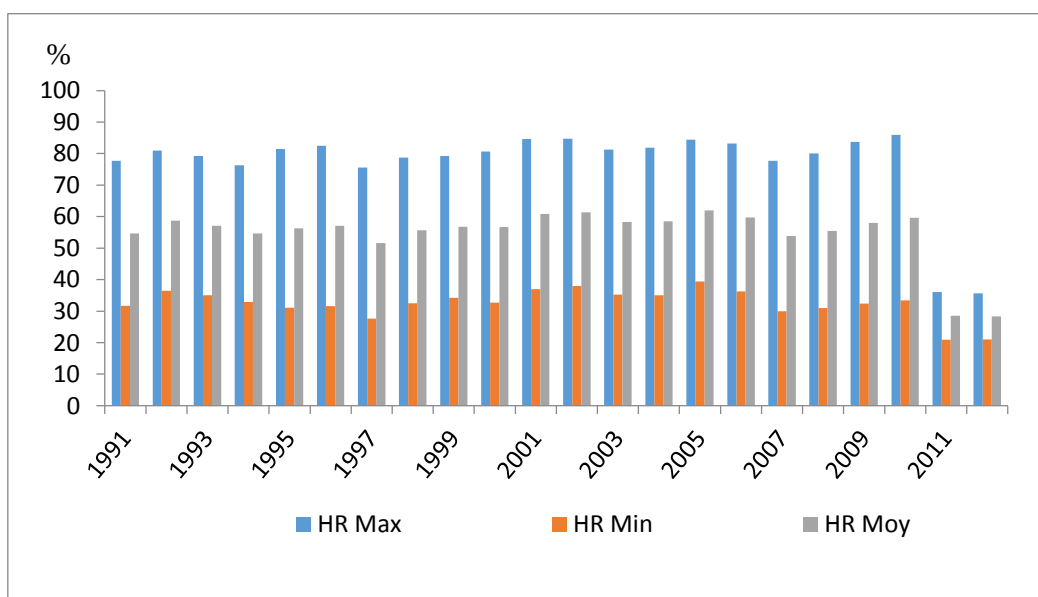


Graphique 13: Variation interannuelle de l'humidité relative de la station de Mbour de 1983 à 2012.

3.3 .5.2. Au Nord ; Fatick

Au niveau mensuel, le diagramme des moyennes est bimodal avec deux maxima : janvier 59,9 % et juillet 88,29 %.

L'humidité relative moyenne annuelle marque une évolution en dents de scie dont le maximum est noté en 2005 avec 62 % pendant que l'année 2012 enregistre le minimum avec 28 %.

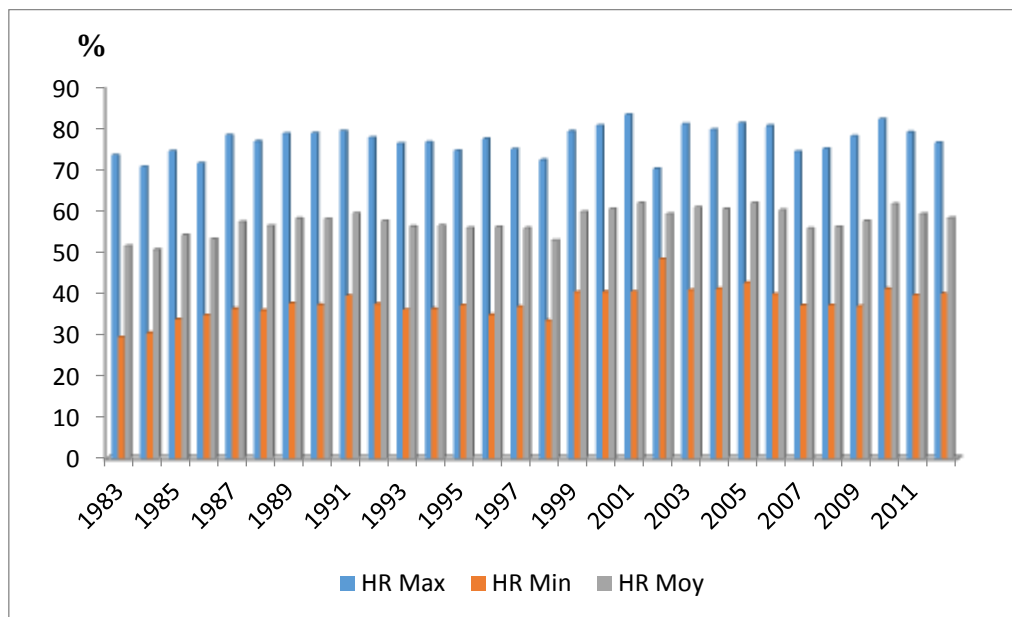


Graphique 14: Variation interannuelle de l'humidité relative de la station de Fatick de 1991 à 2012.

3.3 .5.3. À l'Est : Kaolack

L'évolution interannuelle de l'humidité relative peut être divisée en deux périodes :

- la période 1983 à 1998 marquée par une faible humidité relative et pendant laquelle on enregistre le minimum de la série en 1983 avec 51 %.
- la période 1999 à 2012 est marquée également par une hausse de l'humidité relative. On y note maximum de la série en 2001, 2005 et 2010 avec 62 %.



Graphique 15: Humidité relative moyenne annuelle de la station de Kaolack de 1983 à 2012.

Selon Diop E.S (1986) « cette humidité atmosphérique explique par ailleurs, l'existence des brouillards et des rosées, liés à l'adduction d'air marin chaud et humide sur le sol refroidi par la suite du rayonnement nocturne ».

« Par ailleurs, en humidifiant les horizons supérieurs du sol [infiltration des fines gouttelettes d'eau jusqu'à 1,5-2 cm de profondeur dans les substrats sableux, selon Sall M.M. (1983) cité par Diop E.S (1986)], les brouillards et rosées, contribuent indirectement à lutter contre les effets de la déflation éolienne, particulièrement sensible dans le domaine des Rivières du Sud».

Enfin, les forts taux de l'humidité relative de l'air favorisent la floraison de quelques céréales comme le riz.

3.3.6. La pluviométrie

« La position en latitude de la zone intertropicale de convergence (ZCIT) le long du méridien 28° W, au milieu de l'Atlantique, renseigne également d'une manière originale, sur l'état d'équilibre entre les masses d'air boréales et australes (Mahé et *al* 1993) ». Tandis que « les migrations saisonnières latitudinales de la ZITC à 28° W présentent des caractéristiques différentes suivant la qualité de la saison des pluies à venir au Sahel, qui contiennent une information prédictive (Citeau et *al.* 1988a ; Mahé et Citeau 1993) ». Sultan et Janicot (2000) ont confirmé récemment par l'analyse spatio-temporelle de la distribution des pluies, l'existence de deux phases distinctes dans la mise en place de la mousson sur l'Afrique de l'Ouest, articulées autour d'une migration rapide mi-juin de la ZITC au-dessus du continent depuis une position proche de la côte nord du golfe de Guinée vers une position axée autour de 10° N ». Et d'après Mahé et Citeau, (1993), « c'est le moment où l'on observe un arrêt de la progression vers le Nord de la ZITC dans l'Atlantique intertropical ».

Au niveau régional Mahé et Oliverly (1991, 1995, 1999), ont indiqué que « les précipitations diminuent dans toute l'Afrique de l'ouest et centrale au cours des décennies 1970 et 1980.

Les déficits les plus importants ont été enregistrés dans toute l'Afrique de l'ouest et centrale durant la période 1983-1984, l'année 1983 étant la plus sèche du siècle, de la Mauritanie à l'Angola. Les déficits sont plus faibles en direction de l'Afrique centrale et équatoriale ».

En plus « en régime tropical humide, les pluies ont diminué de 10 à 20 %, et les débits ont diminué de 40 à 60 % » (Mahé et Oliverly 1999), Mahé et *al* 2005).

Au niveau du Sénégal, le déficit pluviométrique enregistré dans le pays « varie entre 30 et 50 % (Le borgne, 1988) ». Cette diminution des pluies est attestée par les différentes années de sécheresse de 1972, 1973, 1974, 1980 (Marius C, 1984).

Les conséquences directes sont l'avancement du front de salinisation, le tarissement des eaux de surface temporaires et l'abaissement des nappes souterraines. Par ailleurs, « ces variations thermiques et hygrométriques influencent la morphogenèse des sols.

Par ailleurs, le CSE (2003), nous apprend que « par rapport aux décennies antérieures, on observe que depuis le début des années 1970, la pluviométrie moyenne annuelle a baissé de 10 % dans la zone tropicale humide à plus de 30 % dans le Sahel, et le débit moyen des grands fleuves de la région a diminué de 40 à 60 % (Mahé et Oliverly, 1995 ; Servat et *al.* 1997 ; Paturel et *al.* 1997). Cette baisse généralisée de la disponibilité de l'eau, se déroule dans un contexte marqué par la persistance d'une grande fréquence des extrêmes climatiques

qui voient se succéder les années de grande sécheresse à celles où prévalent des pluies dévastatrices (Oyebande et *al*, 2002 ; Niasse et *al*, 2003).

A partir des années 2000, l'Afrique subsaharienne a connu un apparent retour des pluies vu les totaux enregistrés dans certaines régions. Mais contrairement à cette situation, l'évolution était négative. La figure 22 retrace l'évolution des pluies dans le sahel de 1950 à 2000. Elle souligne une succession d'importants déficits dans les années 1980 et 1990.

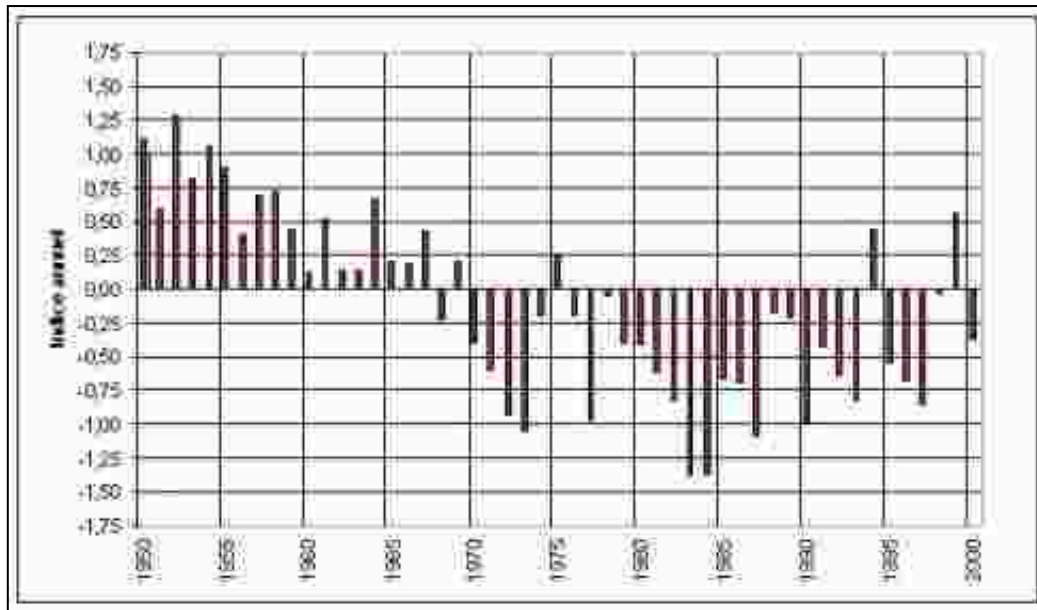


Figure 22: Évolution des pluies dans le Sahel (1950-2000) :

L'Hôte et *al* (2002) in [http : //vertigo. Revues. Org/image](http://vertigo.Revues.Org/image).

Le Sénégal, pays dont la plus grande partie du nord est sahélienne, n'est pas épargné par ces aléas climatiques. Sur l'ensemble du territoire national, et d'après le CSE (2003),

« L'Evapotranspiration Potentielle (ETP) annuelle varie entre 3 200 mm au Nord-est et 1900 mm au sud du territoire. Ainsi, avec un rapport pluviométrie/ ETP se situant entre 0,09 et 0,63, le territoire sénégalais est classé dans le domaine des terres arides et semi-arides ».

Dans l'ensemble du territoire, se remarque une forte réduction des isohyètes depuis le début des sécheresses des années 1980 de l'ordre de moins de 100 mm en moyenne. Et dans la décennie 1991-2000, la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum était comprise dans la fourchette 800-500 mm.

« L'isohyète 500 mm de 1931 à 1960 naguère situé à la latitude de Diourbel, a opéré un glissement d'environ 100 km vers le sud, soit une baisse relative de 200 mm sur l'ensemble des zones agro-écologiques et une diminution de la saison culturale, selon l'Annuaire sur l'Environnement et les Ressources Naturelles du Sénégal (2003) ». Cette décennie 1970 -

1979, correspondant aux premières années d'une longue période de sécheresse généralisée dans l'ensemble du Sahel » (CSE 2000).

D'autre part, « selon le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MEPN, 1997), l'évolution régressive des conditions climatiques a entraîné, entre 1950 et 1980, l'extension vers le sud de 80 à 120 km de la zone sahélienne ».

Dans l'ensemble du pays, les normales pluviométriques accusent une nette régression passant de 800-950 mm en 1931-1960 à 600-750 mm pour la normale 1961-1990, soit une baisse comprise entre 18 % et 24 %.

Dans le bassin arachidier, la pluviométrie est passée de 600 mm en 1960-66 à 335 mm entre 1983 et 1984. Les précipitations sont le plus souvent d'origine thermo - convective. D'où l'avis de P. Pagney que : « Ce sont les flux d'été, chauds et humides, accompagnés de l'effacement du système d'Ouest, et liés à la prédominance d'une circulation d'Est en altitude, qui imposent les pluies ». Elles sont sous la dépendance des vents de mousson et sont de type soudanien à Soudano-Sahélien. Gallais (1977) définit une pluie utile comme étant « une chute supérieure à 3 mm, suivie d'une pluie semblable dans un maximum d'une semaine ».

Mais depuis plus de deux décennies, l'estuaire du Saloum et ses régions de bordures, ont connu une péjoration climatique dont les manifestations les plus sensibles sont la diminution de la pluviométrie et son corollaire d'aridité, ce qui fait dire à Marius C (1977) que « depuis 1968, il y a une diminution généralisée de la pluviométrie au Sénégal, comme dans toute la zone sahélienne avec des périodes de grande sécheresse (1972, 1973, 1974 et 1977) » auxquelles nous ajoutons 1983 et 1984.

Selon Ndong J B (1996), l'estuaire du Saloum et les régions de bordures ont des nombres moyens annuels de jours de pluie compris entre 50 et 70 jours, augmentant du Nord au Sud. Mais, dans le Sine septentrional le nombre de jours de pluies varie entre 39 et 50 jours.

Une analyse de la variabilité de cette pluviométrie par la série 1976 - 2005 dans les stations encadrant et faisant partie de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum peut confirmer ce constat. Ont été considérées, les données disponibles, mais souvent lacunaires, des postes pluviométriques suivants :

- au Nord et au Nord-ouest : Mbour, Joal et Fatick ;
- à l'Est : Kaolack, Kaffrine et Nioro;
- au centre et au sud : Foundiougne et Sokone.

3.3.6.1. Variabilité interannuelle et nombre de jours de pluie

NB : pour ce point la série 1976-2005 a été considérée.

3.3.6.1.1. Des stations du secteur Nord et Nord-ouest.

La pluviométrie des stations ne présente pas les mêmes aspects dans le milieu d'étude du fait de la disparité des nuances climatiques. L'évolution des totaux pluviométriques est en général en corrélation avec le nombre de jours de pluies.

En effet, pour les stations pluviométriques situées au Nord et Nord-ouest du bassin, l'analyse de la pluviométrie pour la série 1976 - 2005, met en évidence une très grande variabilité interannuelle (graphique 16).

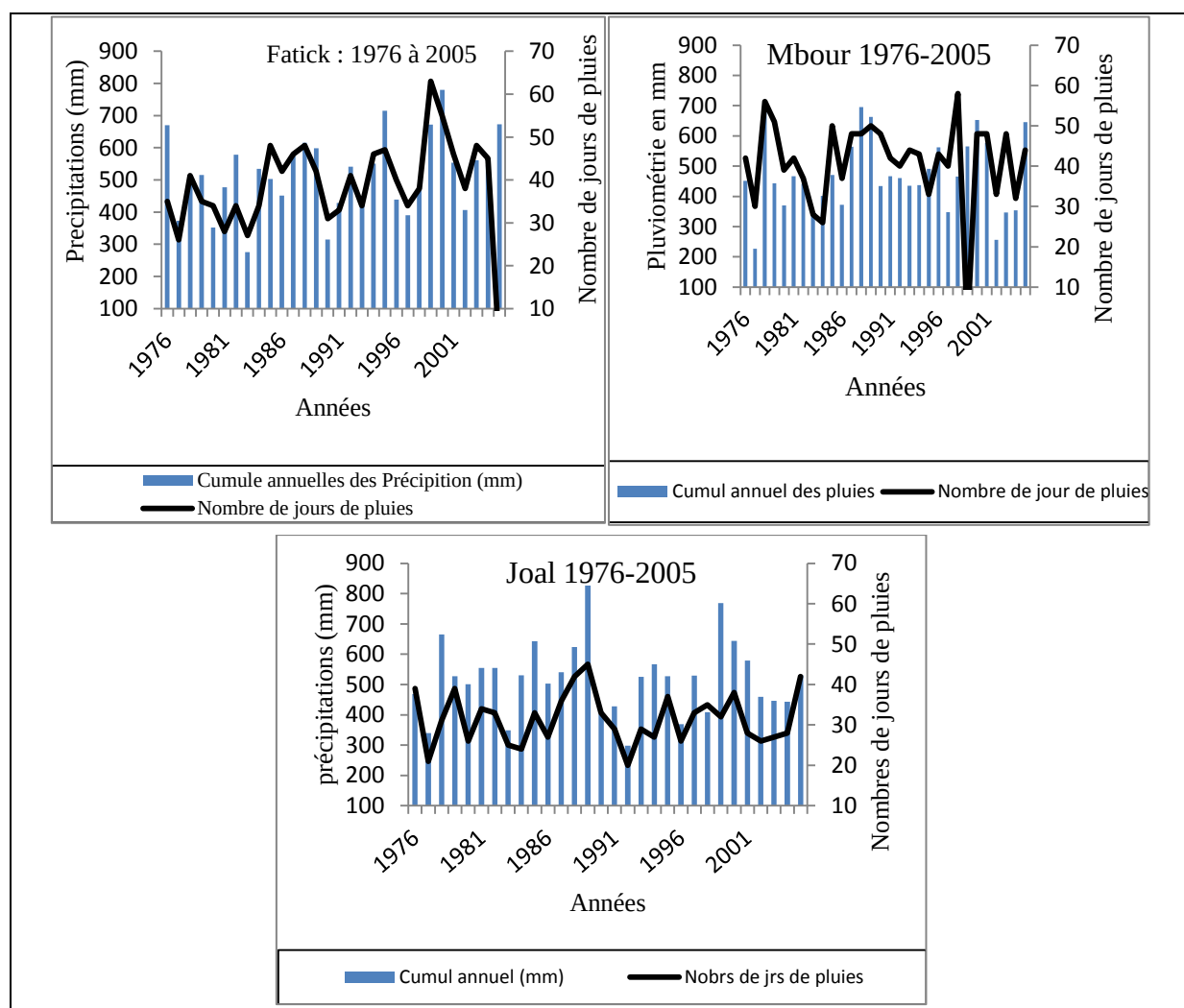
Pour la première décennie (1976-1985) la station de Fatick présente 5 années avec des cumuls qui dépassent plus de 400 mm. Ils atteignent près de 780 mm en 2000. Par contre, elle enregistre 5 années avec des cumuls qui n'arrivent pas à la barre de 400 mm, avec l'année 1983 qui a chuté jusqu'à 300 mm soit un écart de plus de 480 mm. Il en est de même pour la station de Mbour d'où nous notons 7 années avec des cumuls annuels de plus de 400 mm. Ainsi, l'année 1978 atteint 691 mm. Cependant, nous relevons 3 années qui enregistrent des totaux pluviométriques de 370 mm avec l'année 1977 qui a reçu 227,3 mm.

Quant à la station de Joal, la variabilité interannuelle de la pluviométrie moins importante pour cette décennie. Elle enregistre 8 années avec des totaux pluviométriques qui dépassent 400 mm (plus de 650 mm en 1978) et seulement deux années avec des cumuls qui n'atteignent pas 350 mm.

Durant la décennie 1986-1995, la station de Fatick enregistre 9 années qui ont des totaux pluviométriques de plus 400 mm (plus de 700 mm en 1995). En revanche, l'année 1990 ne dépasse pas 300 mm. La station de Mbour suit la même logique en enregistrant 9 années qui dépassent les 400 mm avec l'année 1988 qui atteint 694,8 mm. De même que la station de Joal qui enregistre 8 années avec des cumuls de plus de 400 mm (plus de 826 mm en 1989). Mais, précisons qu'elle enregistre 2 années qui ne dépassent pas 370 mm et l'année 1992 baisse jusqu'à 298,1.

Pour la dernière décennie 1996-2005, nous observons au niveau de la station de Fatick

9 années dont les totaux pluviométriques surpassent 450 mm et 1 année qui n'atteint pas les 400 mm. Pour ce qui concerne la station de Mbour, elle compte 6 années avec des cumuls de Plus de 400 mm (652,7 mm en 2000). Cependant, elle enregistre 4 années avec moins de 360 mm de totaux annuels. Pour ce qui est de la station de Joal, les totaux pluviométriques dépassent partout les 400 mm avec des pics qui vont jusqu'à 643,6 mm en 2000 et 768,8 mm en 1999.



Graphique 16: Variation interannuelle des précipitations et nombres jours de pluies de 1976 à 2005 du secteur Nord et Nord-ouest

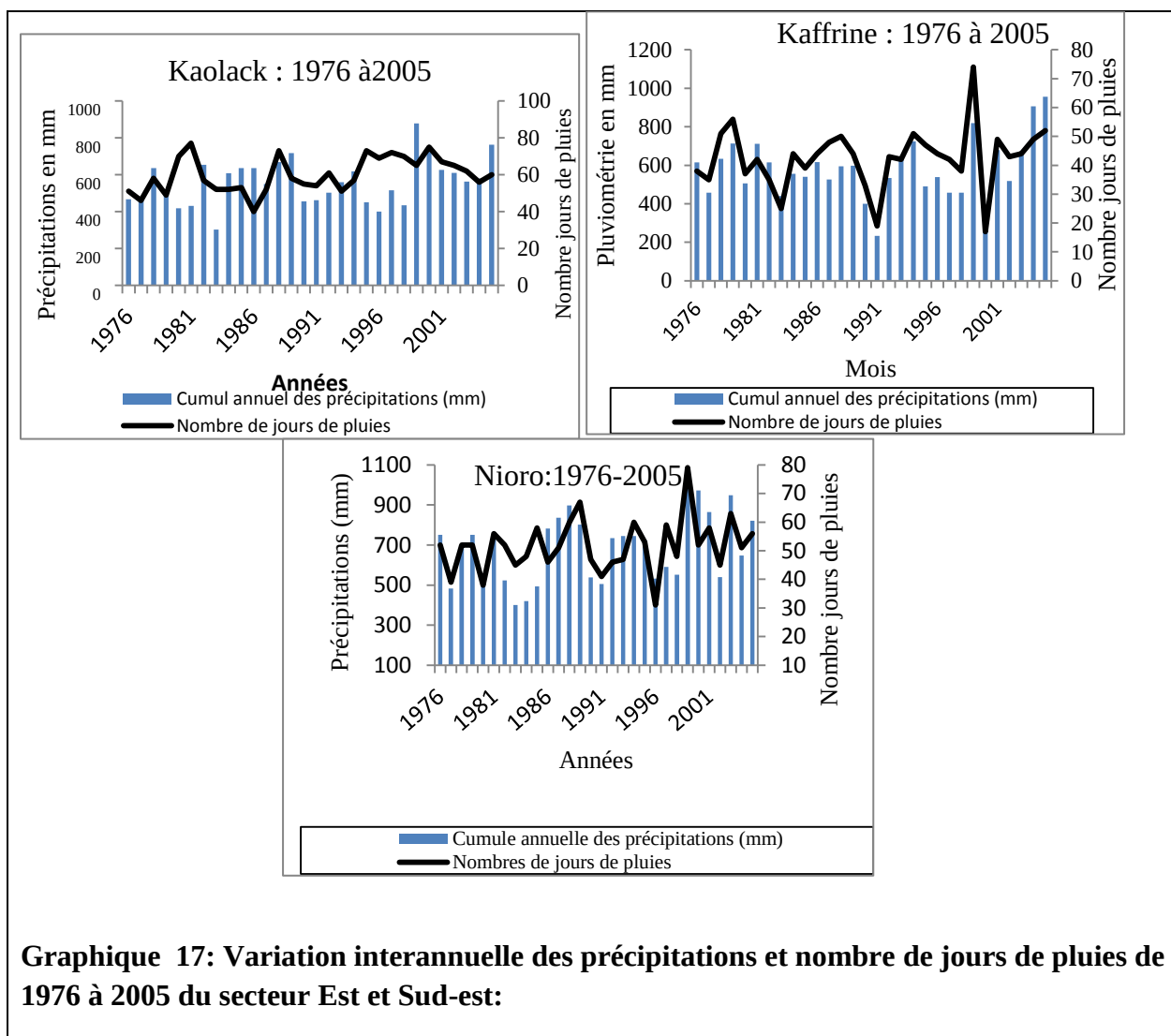
3.3.6.1.2. Des stations du secteur Est et Sud-est

L'examen des stations situées dans le secteur Est et Sud-est pour la décennie 1976-1985, montre que Kaolack compte 9 années qui ont connu des cumuls de plus de 400 mm. Cependant, sa station enregistre une année dont le cumul n'accède pas les 350 mm. Pour cette décennie, le nombre de jours de pluie à Kaolack n'est pas en corrélation avec les totaux pluviométriques. En ce qui concerne la station de Kaffrine, les cumuls annuels varient entre 440,1 mm en 1985 et 712,7 mm en 1979 soit un écart de 272, 3 mm. Quant à la station de Nioro, les totaux pluviométriques annuels vacillent entre 760 mm en 1981 et 400 mm en 1983 d'où une différence de plus de 350 mm.

Au cours de la décennie 1986-1995, les précipitations pluvieuses annuelles de la station de Kaolack oscillent entre 716,7 mm en 1989 et 451,4 mm en 1995.

La station de Kaffrine enregistre des cumuls très contrastés. Ils varient entre 233,2 mm en 1991 et 723,6 mm en 1994 soit un écart de plus de 510 mm. Quant à la station de Nioro, la variabilité est moins importante, car elle entre 538 mm (1990) et 897 mm (1998).

En ce qui concerne la dernière décennie (1996-2005), Kaolack enregistre des cumuls qui varient entre 400 mm en 2003 et 877,7 en 1999. Pour ce qui est de la station de Kaffrine, la dernière décennie est très variable avec des cumuls qui oscillent entre 456,9 mm en 1997 et 955,7 mm en 2005. Enfin, la station de Nioro connaît une variation de ses totaux pluviométriques qui sont de 532 mm en 1996 et 1009 mm en 1999 d'où une différence de plus de 500 mm. (Conf graphique 9)

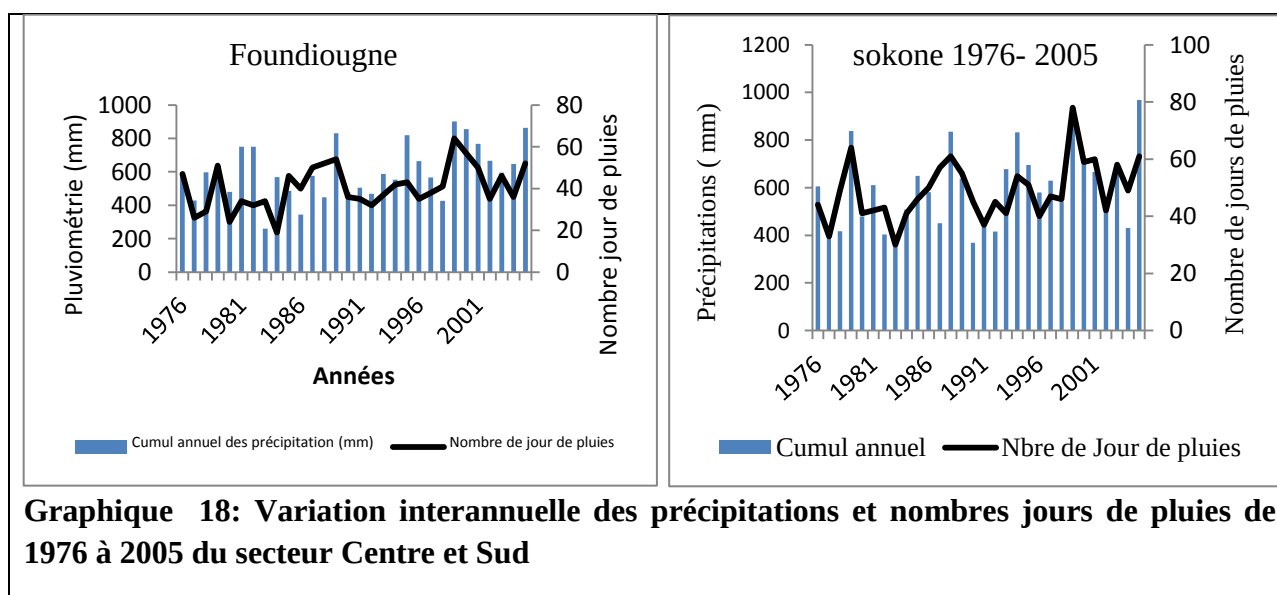


3.3.6.1.3. Des stations du secteur Centre et Sud

Pour le secteur centre et Sud du bassin du Saloum, la première décennie de la station de Foundiougne enregistre des cumuls qui varient à un maximum de 750 mm en 1981 à un minimum 258 mm en 1983 (soit un écart de plus de 450 mm). La station de Sokone quant à elle, note une variation d'un minimum de 402 mm en 1983 et un maximum de 838 mm en 1979.

La deuxième décennie (1986-1995) au niveau de la station de Foundiougne est caractérisée par une variation des cumuls annuels qui vont d'un minimum de 345 mm en 1995 à un maximum de 830 mm en 1989. Pour la station de Sokone, elle note un minimum de 368 mm en 1990 et un maximum de 835 mm en 1998.

Durant la décennie 1996-2005, Foundiougne enregistre des écarts de plus de 450 mm (soit un maximum de 902 mm en 1999 et un minimum de 427 mm en 1998). Sokone traduit presque la même évolution avec un écart de plus de 500 mm soit un maximum de 968 mm enregistré en 2005 et un minimum de 430 mm en 2004.



3.3.6.2. Ecart à la normale 1961-1990.

Les écarts à la normale montrent que les stations du milieu d'étude sont déficitaires par rapport à la normale 1961-1990.

3.3.6.2.1. Des stations du secteur Nord et Nord-ouest.

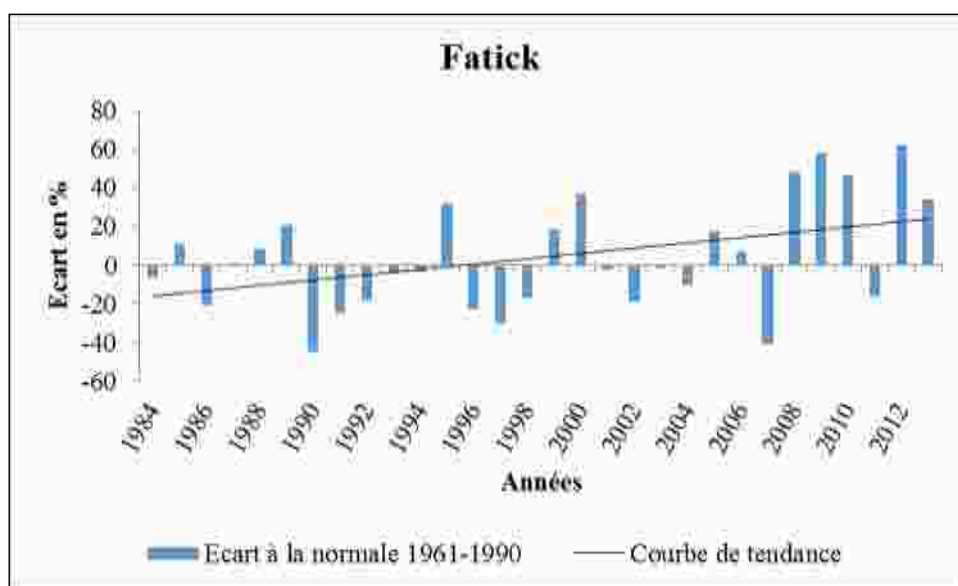
Les stations de Fatick, Mbour et Joal pour la série d'observation 1983-2012, ont connu une baisse considérable de leurs précipitations par rapport à leur normale respective 568,5 ; 559,7 et 597,1 mm. Les stations s'individualisent avec 2 phases, la phase déficitaire de 1983-2007 et la phase humide de 2008-2012.

A Fatick, la phase 1983-2007 est déficitaire. Elle a enregistré 16 années déficitaires.

Les déficits sont compris entre 1 et 60 %. L'année la plus déficitaire de la série est 1983.

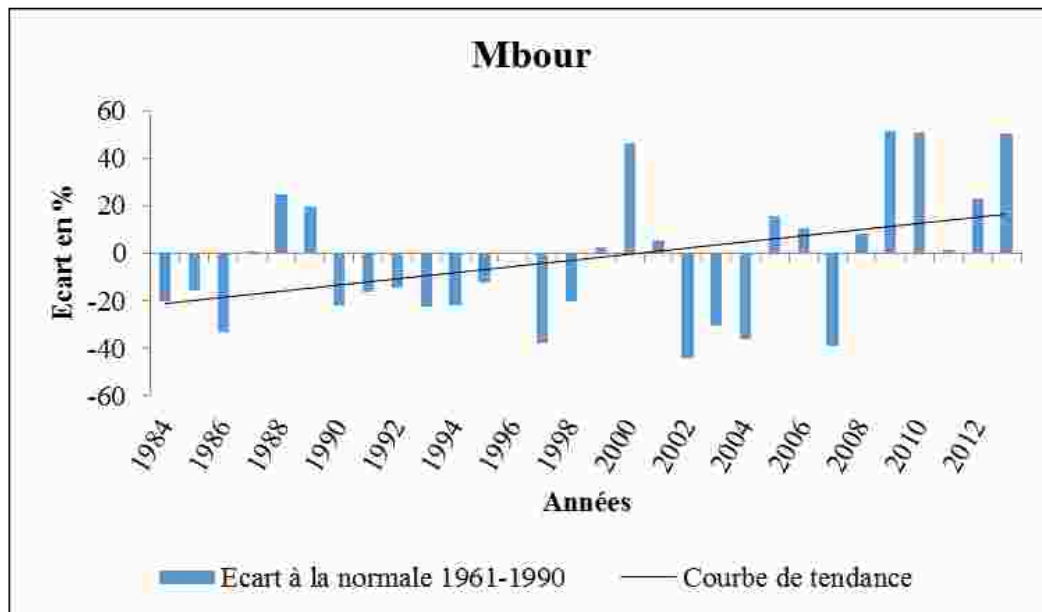
Elle a relevé un déficit de plus de 50 % par rapport à la normale. La phase est entrecoupée par 8 années pluvieuses. Ce sont les années 1985, 1987, 1988, 1995, 1999, 2000, 2005 et 2006.

La phase 2008-2012 est globalement excédentaire. Elle a enregistré des surplus de plus de 40 %. Cette phase n'a relevé qu'une année déficitaire. C'est l'année 2011 avec un fléchissement de moins de 20 %. L'année la plus humide est 2012 avec un surplus de 62,3 %.



Graphique 19: Ecart à la normale (1961-1990) de la station de Fatick

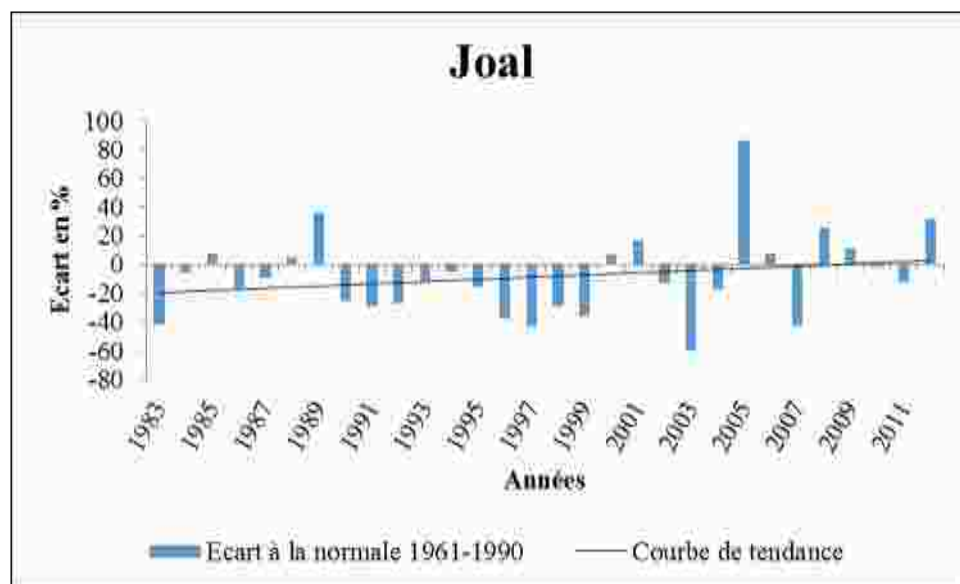
La station de Mbour a beaucoup de similitudes avec la station de Fatick. La phase 1983-2007 est déficitaire. Les déficits varient de 10 est à 50 %. L'année la plus déficitaire est 2002 avec un déficit de 44,3 %. La période est entrecoupée par 8 années excédentaires (1987, 1988, 1989, 1996, 1999, 2000, 2001, 2005 et 2006). La phase 2008-2012 est entièrement pluvieuse. Les excédents sont compris entre 1 et 60 %. Elle n'a relevé aucune année déficitaire. L'année la plus humide est 2009 avec apport pluviométrique de 51,4 %.



Graphique 20: Ecart à la normale (1961-1990) de la station de Mbour

A Joal, la phase 1983-2007 est très déficitaire comparée aux stations précédentes. Les déficits sont compris entre 10 et 70 %. L'année la plus déficitaire est 2003. Elle a accusé un fléchissement de plus de 60 %. 5 années pluvieuses s'intercalent entre cette période. Il s'agit des années 1985, 1988, 1989, 2000, 2005 et 2006. De ces cinq années 2005, est de loin, la plus arrosée avec un excédent de plus de 80 %.

La période 2008-2012 est plus ou moins arrosée avec deux années déficitaires (2010 et 2011) et trois années de pluviométrie excédentaires (2008, 2009 et 2012).



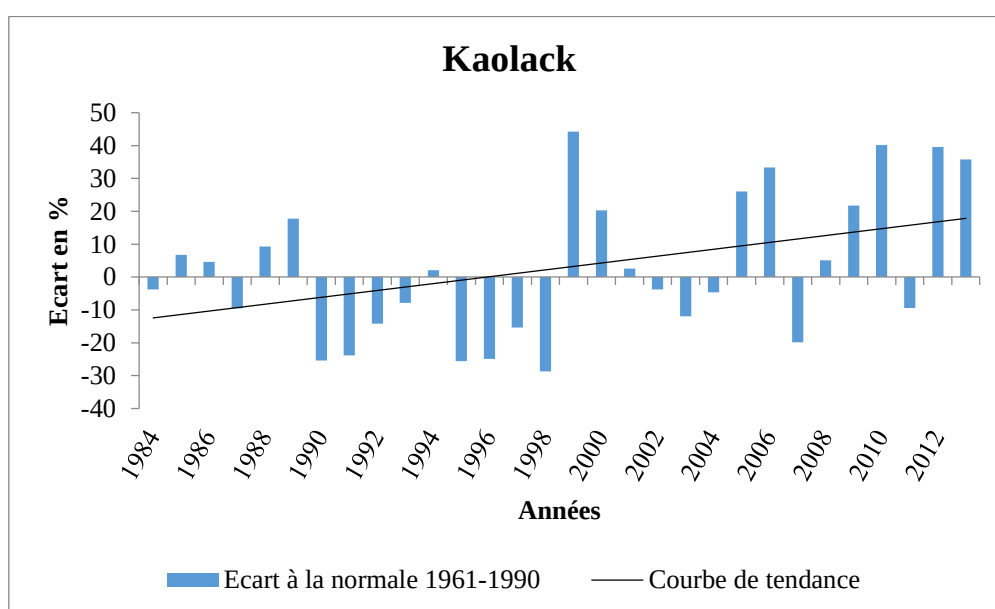
Graphique 21: Ecart à la normale (1961-1990) de la station de Joal

3.3.6.2.2. Stations du secteur Est et Sud-est

Les stations du secteur Est et Sud-est (Kaolack, Kaffrine et Nioro) sont déficitaires par rapport à leur normale respective 608,7, 596,1 et 722,9 mm. Les stations présentent deux phases, une phase déficitaire et une phase excédentaire.

A Kaolack, la phase déficitaire va de 1983 à 2007. Excepté les huit années humides (1985, 1986, 1988, 1989, 1999, 2000, 2005 et 2006), tout le reste des années a enregistré des déficits compris entre 1 et 60 %. L'année la plus déficitaire est 1983. Elle a accusé un déficit de plus de 50 %. Par contre l'année la plus humide de la série est 1999 avec un surplus de plus de 40 %.

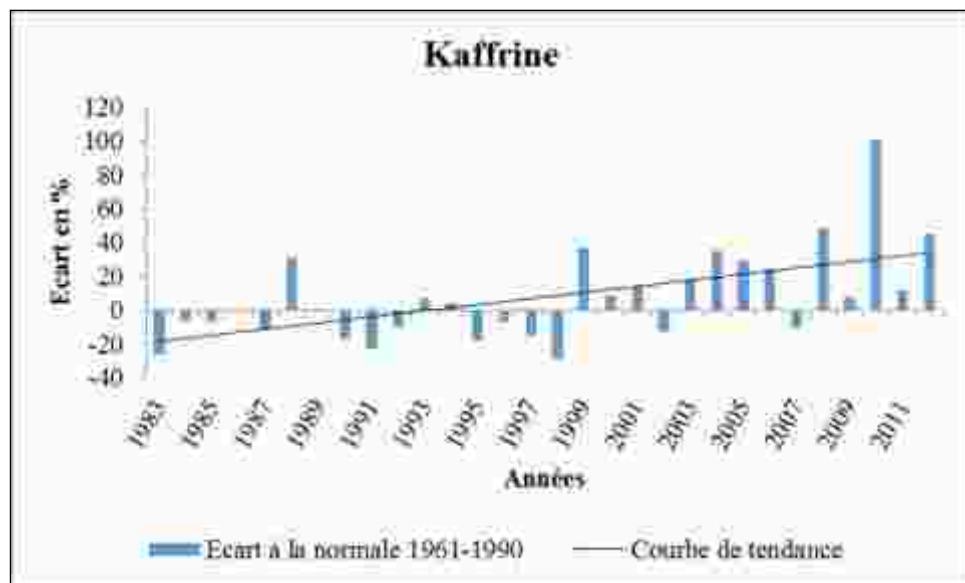
La phase humide s'étale de 2008 à 2012. La série compte quatre années humides (2008, 2009, 2010 et 2012) contre une année déficitaire (2011). Les années les plus pluvieuses de ces quatre années sont 2010 et 2012 avec des excédents de plus de 30 %.



Graphique 22: Ecart à la normale (1961-1990) de la station à Kaolack

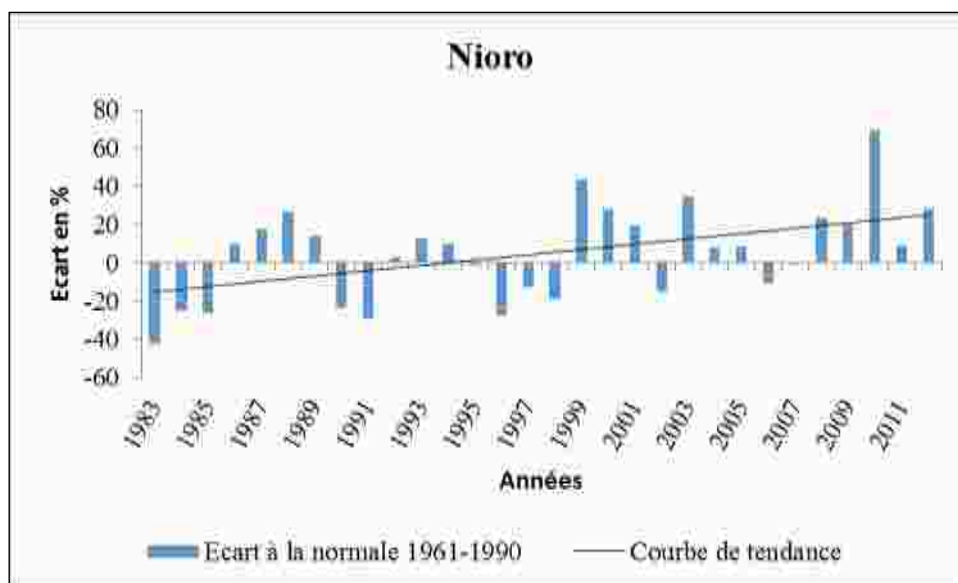
A Kaffrine, contrairement aux stations précédentes, la période déficitaire s'étale de 1983 à 1998. Elle compte 11 années déficitaires. Les déficits sont compris entre 1 et 40 %. Les

années les plus déficitaires de cette période sont 1983, 1991 et 1998. Elles ont accusé des déficits qui dépassent 20 %. La série est entrecoupée par 4 années pluvieuses. Ce sont 1988, 1989, 1993 et 1994. La phase humide va de 1999 à 2012. A l'exception des années déficitaires de 2002, 2007, toutes les années de la période sont excédentaires. Les années les plus pluvieuses sont 1999, 2004, 2008, 2010 et 2012. Elles ont recueilli des surplus dépassant 30 %.



Graphique 23: Ecart à la normale (1961-1990) de la station à Kaffrine

A Nioro comme à Kaffrine, la période peu pluvieuse s'étale de 1983 à 1998. Elle compte 9 années déficitaires avec des fléchissements qui varient 2 à 50 %. Les années les plus déficitaires en eau pluviale sont 1983, 1984, 1985, 1990, 1991 et 1996.



Graphique 24: Ecart à la normale (1961-1990) de la station à Nioro

Elles ont accusé des déficits de plus de 20 %. L'année la plus déficitaire d'entre elles est 1983 avec un déficit de plus de 40 %. La période est entrecoupée par deux séquences d'années déficitaires. Il s'agit de 1986 à 1989 et de 1992 à 1994.

La phase 1999 à 2012 est humide. Seules les années 2002, 2006 et 2007 sont peu pluvieuses avec des déficits respectifs de 15,2, 10,8 et 1,1 %.

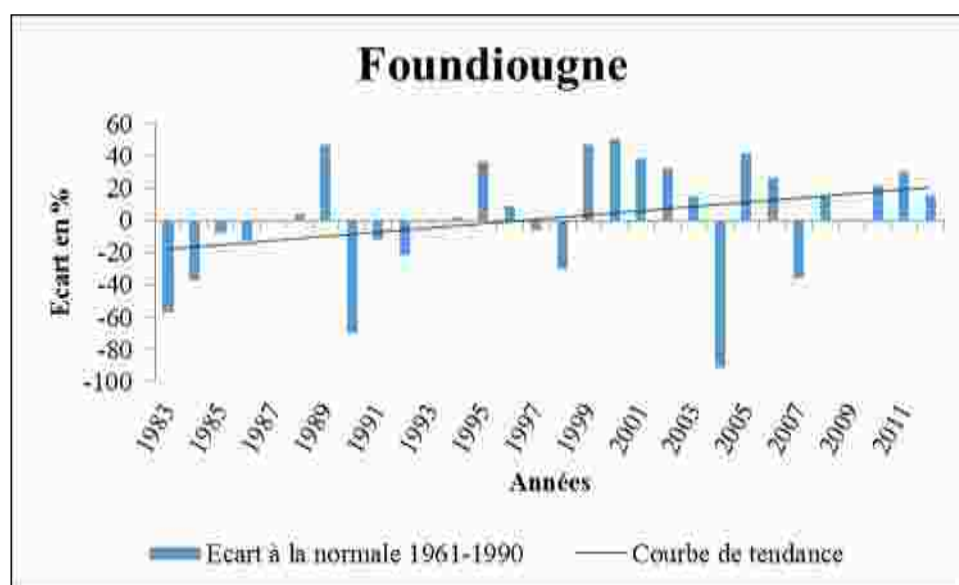
Les années les plus excédentaires de cette période sont 1999, 2000, 2008, 2009, 2010 et 2012. Elles ont enregistré des surplus qui dépassent 20 %.

3.3.6.2.3. Stations du secteur Centre et Sud

L'analyse des données pluviométriques des stations du secteur Centre et Sud (Foundiougne et Sokone) montre une évolution en deux phases : une déficitaire et une excédentaire.

A Foundiougne, la phase 1983-1998 est peu humide. A l'exception des années 1988, 1989, 1994, 1995 et 1996, soit 5 hivernages sur une période 16 ans, tous les saisons pluvieuses sont déficitaires en eau pluviale. Les cas d'extrême déficit, soit plus de 30 % inférieur à la normale sont 1983 et 1984. La phase 1999-2012 est globalement humide. Elle présente une succession d'années de pluviométrie abondante.

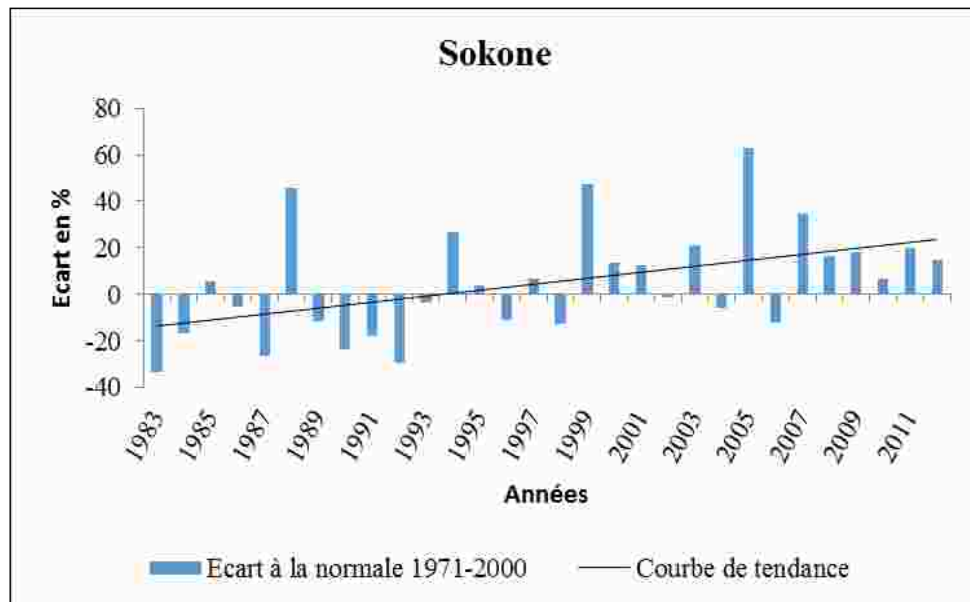
Seules les années 2004 et 2007 enregistrent une quantité de pluie inférieure à la normale en plus de 30 %. L'année la plus déficitaire de la série est 2004 avec un déficit de plus de 90 %.



Graphique 25: Ecart à la normale (1961-1990) de la station à Foundiougne

A Sokone, la période 1983-1998 est peu pluvieuse. Seules les années 1985, 1988, 1994, 1995 et 1997 sont excédentaires. Les années les plus déficitaires à plus de 20 % inférieurs à la normale sont 1983, 1990, et 1992.

La phase 1999-2012 est globalement humide. Elle est entrecoupée uniquement par 3 années de déficit modéré. Ce sont 2002, 2004 et 2006. Les années les plus excédentaires, plus de 30 % supérieures à la normale sont 1999, 2005 et 2007. L'année la plus humide de la série est 2005, avec un surplus de 63 %.



Graphique 26: Ecart à la normale (1961-1990) de la station à Joal

3.3.6.3. Anomalies standardisées et courbe de tendance

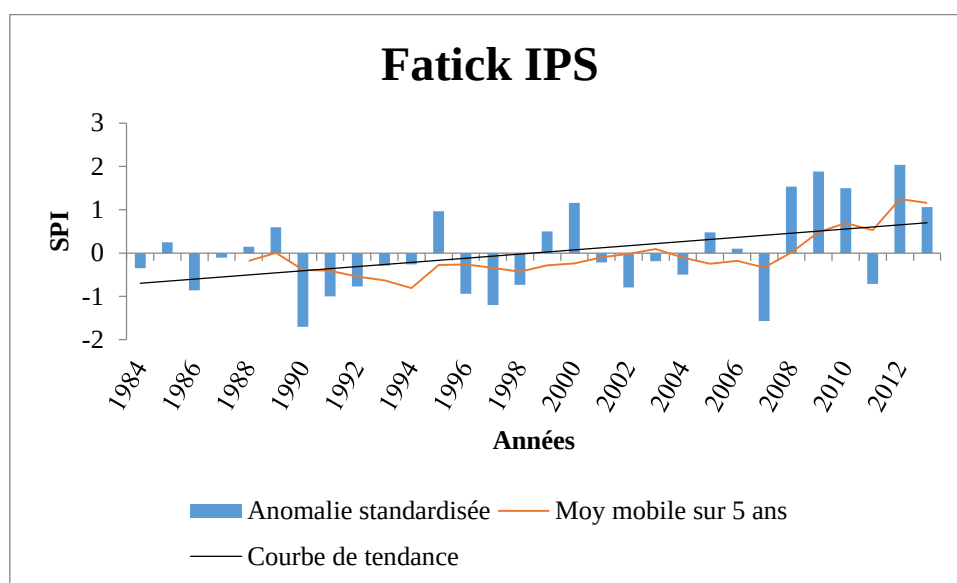
Les anomalies standardisées sont doublées d'une courbe de tendance et d'une moyenne mobile étalée sur 5 ans. Ce qui permet de définir le caractère déficitaire ou excédentaire de la

pluviométrie annuelle. En effet, les indices montrent que la pluviométrie ne se manifeste pas de la même manière sur l'ensemble des stations du fait de la diversité des domaines climatiques.

3.3.6.3. 1. Des stations du secteur Nord et Nord-ouest

Dans la station de Fatick, la période 1983-2007 est très déficitaire avec une moyenne mobile qui se situe en dessous de 0, signe de l'importance de la sécheresse. Elle ne compte que 8 années modérément pluvieuses avec des indices inférieurs à 2. Ce sont les années 1985, 1987, 1988, 1995, 1999, 2000, 2005 et 2006. Les années les plus déficitaires avec un indice supérieur à -1 sont 1983, 1990, 1991, 1997 et 2007.

La période 2008-2012 est très humide avec une moyenne mobile au-dessus de zéro. Les années sont très excédentaires avec des indices supérieurs à 1. L'année d'extrême excédent est 2012. Elle présente un indice supérieur à 2. La phase n'a relevé qu'une année modérément déficitaire, avec un indice inférieur à -1. C'est l'année 2011.



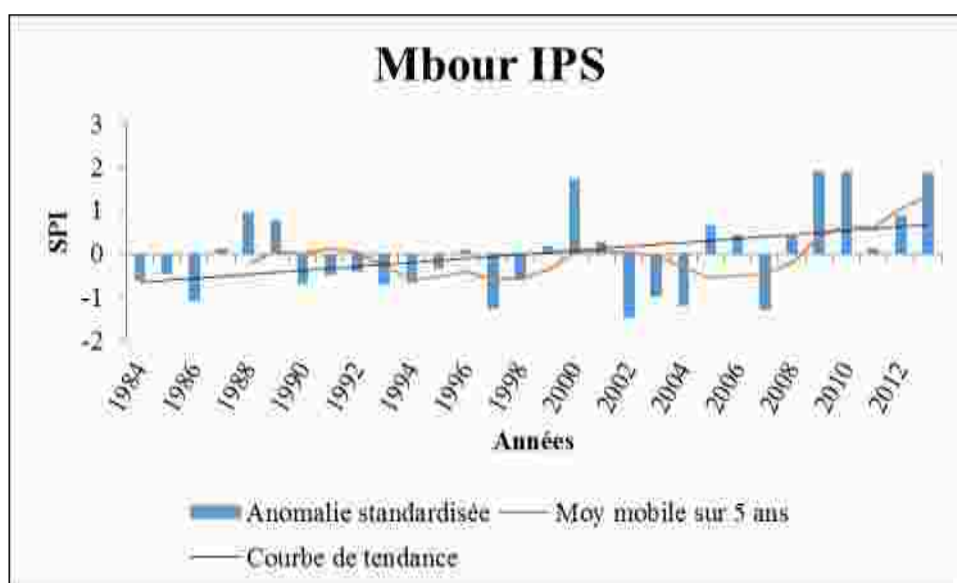
Graphique 27: Anomalies standardisées et courbe de tendance à la station de Fatick

A Mbour, la période 1983-1998 est globalement déficitaire avec une moyenne mobile située au-dessous du zéro. Elle compte uniquement 8 années modérément excédentaires (1987, 1988, 1989, 1996, 1999, 2000, 2001, 2005 et 2006). Elles ont accusé des indices inférieurs à

1. Excepté 2002 où l'indice s'élève à 1,7. Les années les plus déficitaires sont 1983, 1986, 1997, 2002, 2004 et 2007. Elles se particularisent avec des indices supérieurs à -1.

La phase 2008-2012 est entièrement excédentaire. Elle n'a relevé aucune année déficitaire.

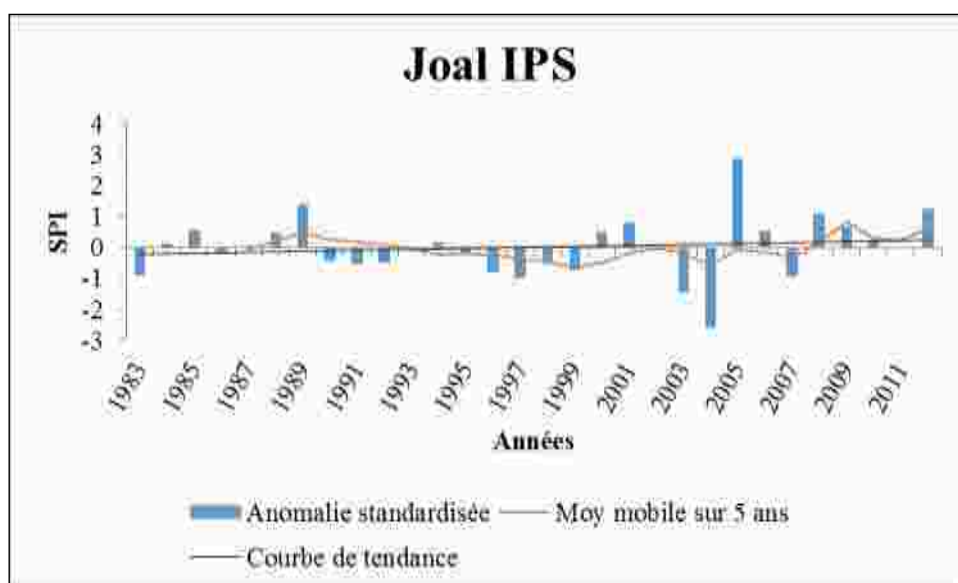
Les années très excédentaires avec des indices supérieurs à 1 sont 2009 et 2010.



Graphique 28: Anomalies standardisées et courbe de tendance à la station de Fatick

A Joal, la phase 1983-2007 est déficitaire. La moyenne plonge en dessous du zéro. Les années d'extrême sécheresse avec des indices supérieurs à -1 sont 2003 et 2004. La période compte 9 années modérément excédentaires avec des indices inférieurs à 1 (1984, 1985, 1987, 1988, 1989, 1994, 2000, 2001, 2006) et 2 années très déficitaires avec des indices supérieurs à 1 (1989, 2005).

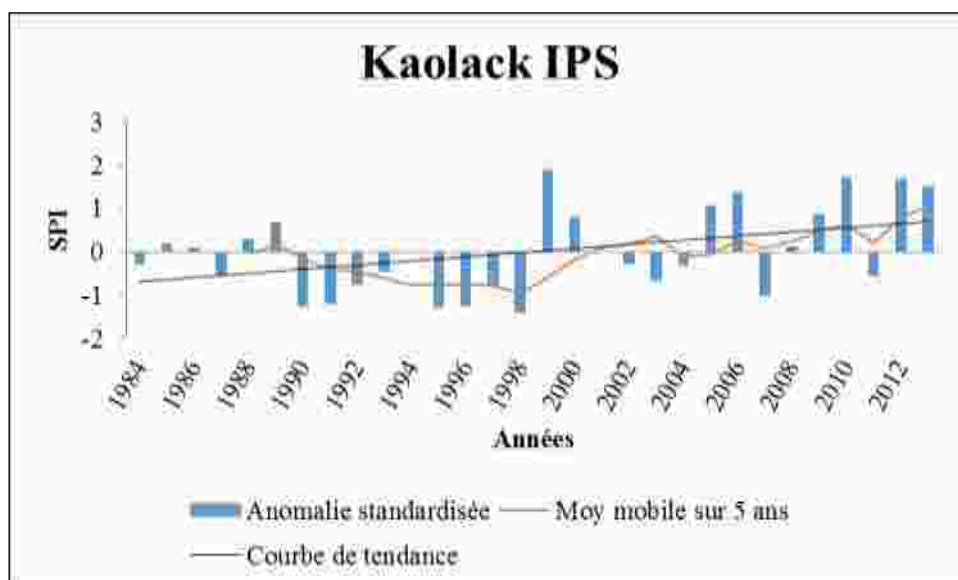
La phase 2008-2012 est très humide. Elle ne compte qu'une année légèrement déficitaire avec un indice inférieur à -1. C'est en 2011. Les années très excédentaires de cette phase avec des indices supérieurs à 1 sont 2008 et 2012.



Graphique 29: Anomalies standardisées et courbe de tendance de la station de Joal

3.3.6.3. 2. Des stations du secteur Est et Sud-est

A Kaolack, la période 1983-2007 est déficitaire avec une moyenne mobile située en dessous de zéro. Elle compte 15 années déficitaires. Les années ayant enregistré de fort déficit sont 1983, 1990, 1991, 1995, 1998 et 2007. Elles présentent des indices près de -2. L'année extrêmement déficitaire est 1983 avec un indice de -2,4. Les années humides de la période sont 1985, 1986, 1988, 1989, 1999, 2000, 2005 et 2006.



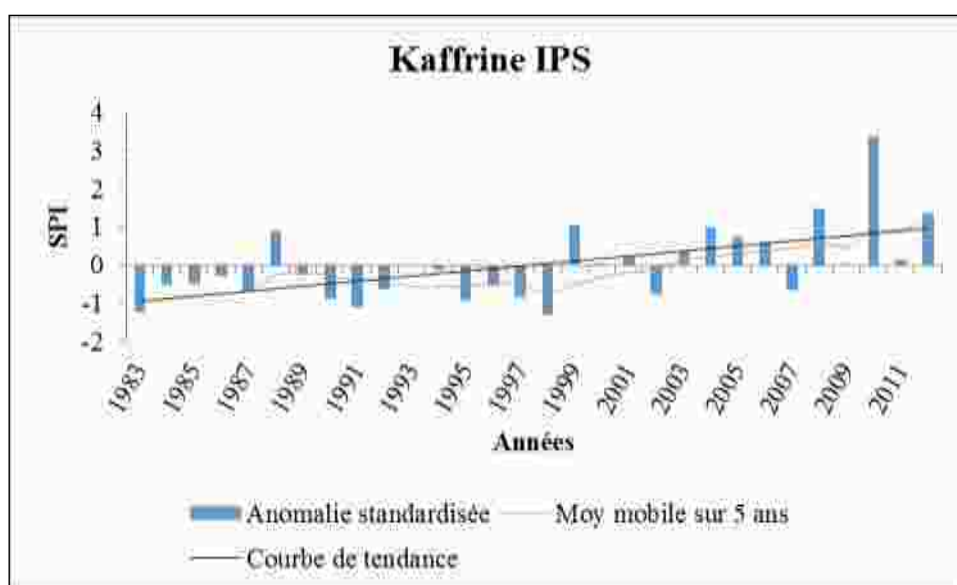
Graphique 30: Anomalies standardisées et courbe de tendance de la station de Kaolack

Kaffrine présente une moyenne globalement déficitaire. La moyenne mobile plonge en dessous de zéro de 1983 à 1998. Cette situation est plus marquée en 1997 où la moyenne

descend jusqu'à -1,3. Seules les années 1988 à 1993 ont connu un excédent de pluie durant cette période.

Nous observons cette tendance de 1999 à 2012 où la moyenne mobile demeure au-dessus de 0. Cette phase excédentaire compte seulement 2 années modérément déficitaires. Ce sont 2002 et 2007 avec des indices inférieurs à -1. L'année extrêmement déficitaire est 2010.

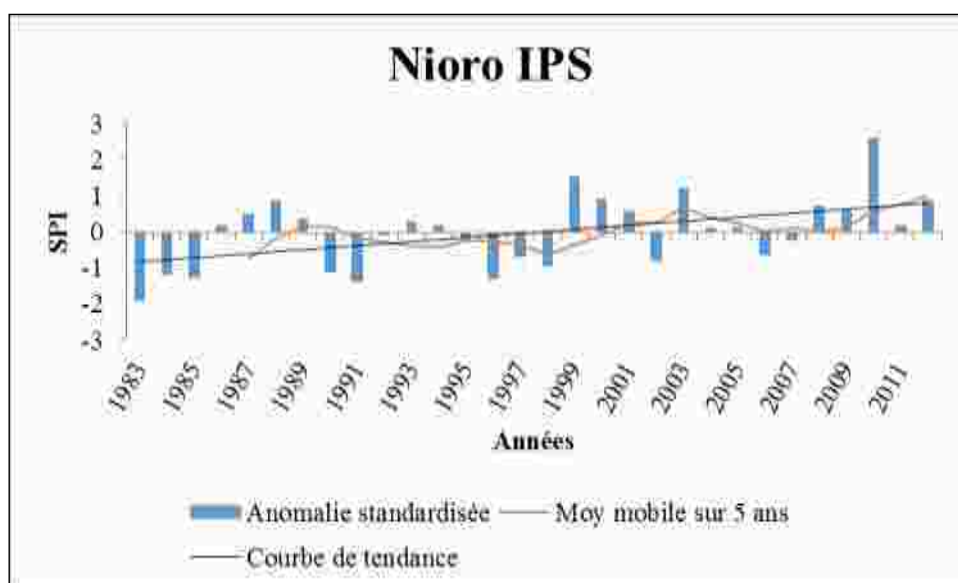
Elle a enregistré un indice positif supérieur à 3.



Graphique 31: Anomalies standardisées et courbe de tendance de la station de Kaffrine

Nioro a les mêmes tendances que Kaffrine. La phase 1983-1998 est complètement déficitaire avec une moyenne mobile située en dessous de zéro. Elle a enregistré 6 années très déficitaires avec des indices supérieurs à -1. Ce sont 1983, 1984, 1985, 1990, 1991 et 1996. Nous constatons de faibles excédents, inférieurs à 1, en 1986, 1987, 1988, 1989 et 1993 et 1994.

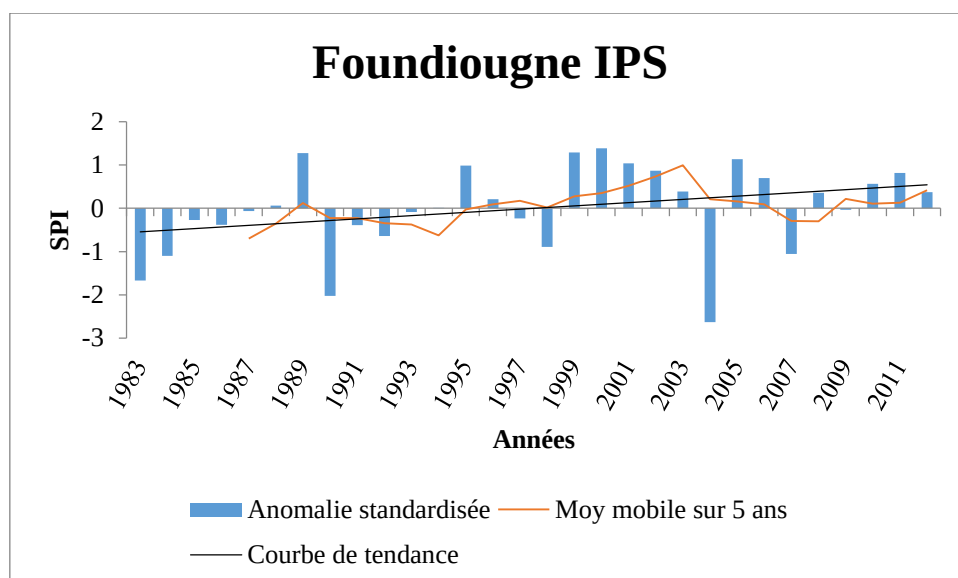
La phase 1998-2012 est excédentaire avec une moyenne située au-dessus 0. Elle n'a relevé que 3 années (2002, 2006 et 2007) de sécheresse modérée avec un indice inférieur à -1. Les années 1999, 2003 et 2010 se distinguent par une humidité forte avec des indices supérieurs à 1. L'année 2010 est la plus pluvieuse de la série. Elle se particularise par une humidité extrême avec un indice supérieur à 2.



Graphique 32: Anomalies standardisées et courbe de tendance de la station de Nioro.

3.3.6.3. 3. Des stations du secteur Centre et Sud.

A Foundiougne, Durant la phase 1968 à 1998, à part les années 1988, 1989 et 1994, 1995 et 1996 qui sont d'une humidité modérée avec des indices inférieurs à 1, tous les hivernages sont déficitaires en eau pluviale avec une moyenne mobile au-dessus de zéro. Les saisons pluvieuses de 1983, 1984, 1986 et 1990 se caractérisent par des déficits forts avec des indices compris entre -1 et -3. L'année à bilan pluviométrique exceptionnellement négatif dans ce poste est l'année 1990, avec un indice supérieur à -2.



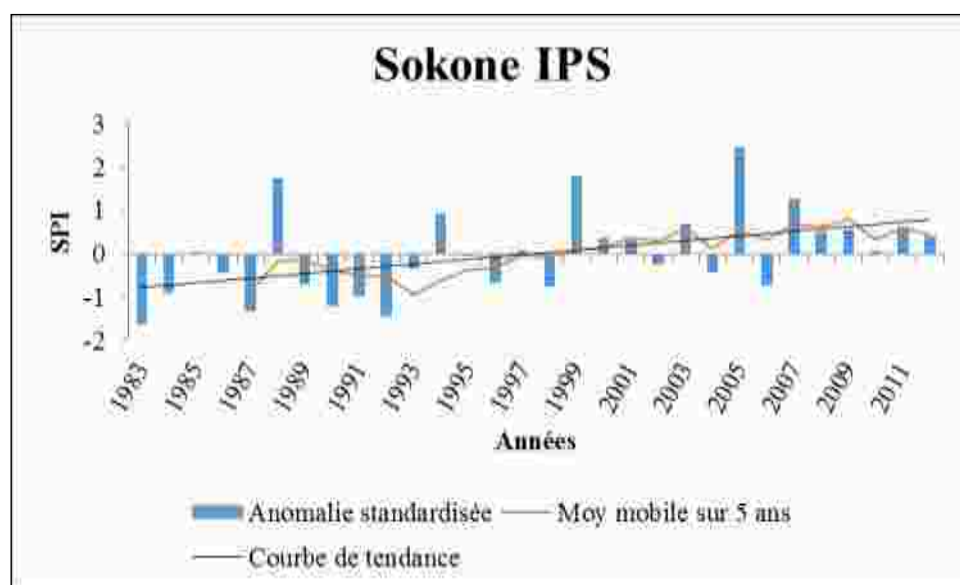
Graphique 33: Anomalies standardisées et courbe de tendance de la station de Foundiougne

La dernière période (1999-2012) est excédentaire. Elle présente une courbe située au-dessus de 0. Seules les années 2004, 2007 et 2009 où la moyenne mobile a chuté jusqu'à -0,5, sont considérées comme année sèche. Les années 1999, 2000, 2001 et 2005 se particularisent par une humidité très forte avec des indices supérieurs à 1.

A Sokone, la période 1983-1998 est déficitaire. Durant cette période la moyenne mobile est partout inférieure à zéro. Elle a relevé uniquement 3 années excédentaires (1985, 1988 et 1994). Les années 1983, 1987, 1990 et 1992 se particularisent par une sécheresse forte avec des indices entre -1 et -2. La saison pluvieuse la plus sèche de la série est 1992 avec un indice -1,4.

La période 1999-2012 est globalement excédentaire avec une courbe située au-dessus de zéro. Seules les années 2002, 2004 et 2006 sont légèrement déficitaires avec des indices inférieurs à -1. Les années les plus humides de la phase sont 1999, 2005 et 2007.

Elles ont accusé des indices supérieurs à 1.



Graphique 34: Anomalies standardisées et courbe de tendance de la station de Sokone.

3. 3.6.4. Variabilités spatio-temporelles des précipitations pluvieuses à l'échelle du bassin du Saloum et des régions de bordures.

La pluviométrie en pourcentage d'excédent ou de déficit par rapport à la moyenne est mise en place sous forme de caissons appelés Fichier Bertin. Cette méthode permet de dégager les singularités de la disparité des pluies du bassin du Saloum.

L'application de cette classification déduite de l'indice pluviométrique de Lamb (1982) à la série d'observation de 1983 et 2012 met en évidence les caractéristiques de chaque année (tabl 21). La variabilité des précipitations au fil des années est mise en évidence par cinq classes d'écarts à la moyenne, déduite de l'indice d'anomalie pluviométrique selon la méthode de

Lamb (1982) :

Méthode de Lamb :

- année très déficitaire : $P_a \leq 70 \%$;
- année déficitaire : $70 \% < P_a \leq 90 \%$;
- année normale $90 \% < P_a \leq 110 \%$ de la norme ;
- année excédentaire $110 \% < P_a \leq 120 \%$ de la normale ;
- année très excédentaire $P_a > 120 \%$ de la normale :

Le Fichier Bertin fait ressortir de façon synoptique les caractéristiques pluviométriques des années dans les différentes stations du bassin et dans celles des régions de bordures.

Le Fichier se singularise par une multitude d'années déficitaires et même très déficitaires (tabl 24).

Tableau 24: Fichier Bertin.

Années	Foundiougne	Joal	Nioro	Fatick	Kaolack	Mbour	Sokone	Kaffrine
1983								
1984								
1985								
1986								
1987								
1988								
1989								
1990								
1991								
1992								
1993								
1994								
1995								
1996								
1997								
1998								
1999								
2000								
2001								
2002								
2003								
2004								
2005								
2006								
2007								
2008								
2009								
2010								
2011								
2012								
Légende	Valeurs				Signification			
	P<=70 %				Très déficitaire			
	70 % < P <= 90 %				Déficitaire			
	90 % < P <=110 %				Normale			
	110 % < P <=120 %				Excédentaire			
	P > 120 %				Très excédentaire			

3. 3.6.4.1. Le secteur Nord et Nord-Ouest

Dans la station de Fatick, la période 1983-2007 est très sèche avec 5 années très déficitaires (1983, 1984, 1990, 1997 et 2007) et 7 années déficitaires (1996, 1991, 1992, 1996, 1998, 2002 et 2004). Elle compte seulement 2 années très excédentaires (1995 et 2000).

La période 2008 à 2012 est dominée par des années très excédentaires (2008, 2009, 2010 et 2012). Cependant, elle présente une année déficitaire (2011).

A Mbour la période 1983-1998 est caractérisée par une alternance d'années très déficitaires, déficitaires, normales à très excédentaires. Les années très déficitaires sont 1983, 1986 et 1997. Les années déficitaires sont 1985, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995 et 1998.

Les années normales sont 1987 et 1996. Les années très excédentaires sont 1988 et 1989.

La phase 1999-2012 est dominée par des années très excédentaires, excédentaires et normales. Les années très excédentaires sont 2000, 2009, 2010 et 2012. Les années excédentaires sont 2005, 2006, 2008 et 2011. Les années normales sont 1999 et 2001. Cependant la période est entrecoupée 3 années très déficitaires (2002, 2004 et 2007) et une année déficitaire (2003).

A Joal, la phase 1983 à 2007 est dominée par des années normales, déficitaires à très déficitaires. Elle n'a relevé qu'une année très excédentaire (1989) et 2 années excédentaires (1985 et 1999). La phase 2008 à 2012 est très humide. Elle présente 3 années très excédentaires (2008, 2009, 2012), 2 années normales (2010 et 2011).

3. 3.6.4.2. Le secteur Est et Sud-est

A la station de Kaolack, la phase sèche de 1983 à 2007 est dominée par des années normales, déficitaires à très déficitaires. Elle compte seulement 2 années excédentaires (1989 et 2000) et 3 années très excédentaires (2005 et 2006).

La phase 2007-2012 est très humide. Elle présente 2 années très excédentaires (2010 et 2012), une année excédentaire (2009) et une année normale (2008). La phase est entrecoupée d'une année déficitaire (2011).

La station de Kaffrine est déficitaire comparée à la normale, sur la période 1983 à 1998.

Nous notons une alternance d'années très déficitaires, déficitaires à normales. Les années excédentaires sont 1983 et 1998. Les années déficitaires sont 1984, 1985, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995, 1996 et 1997. Les années 1986, 1989, 1993 et 1994 constituent les années normales. La série présente une année très excédentaire 1998 avec un écart de 122,3 %.

La phase 1999-2012 est très variable. Elle présente deux années excédentaires (2005 et 2006), 5 années très excédentaires (1999, 2004, 2008, 2010 et 2012), 5 années normales

(2000, 2001, 2003, 2009 et 2011) avec des écarts compris entre 90 et 110 % et une année déficitaire (2007). Elle a relevé un écart de plus de 70 %.

A la station de Nioro, la phase 1983-1998 est entièrement déficitaire. Elle est dominée par des années normales, déficitaires à très déficitaires. Elle compte seulement 2 années excédentaires (1987 et 1988). Elle n'a relevé aucune année très excédentaire. Les années très déficitaires sont 1983, 1985, 1991 et 1997. Les années déficitaires sont au nombre de 4. Il s'agit des années 1984, 1990, 1997, 1998. Les années normales sont 1986, 1989, 1992, 1993, 1994 et 1995.

La phase 1998-2012 est très pluvieuse. A part les années déficitaires de 2002 et 2007, tout le reste est excédentaire. En effet, elle compte 5 années très excédentaires (1999, 2000, 2003, 2010 et 2012), 3 années excédentaires (2001, 2007 et 2008) et 4 années normales (2004, 2005, 2007 et 2011).

3. 3.6.4. 3. Le Centre et Sud

Les stations du secteur Centre et Sud (Foundiougne, Sokone) sont caractérisées par une alternance d'années sèches et d'années humides.

En ce qui concerne la station de Foundiougne, la phase 1983-1998 est entièrement sèche.

Elle s'identifie par suite d'années normales, déficitaires à très déficitaires de 1983 à 1988, de 1990 à 1994 et de 1996 à 1998. Elle est interrompue par 2 années très excédentaires (1989 et 1995).

La phase 1999 à 2012 est marquée par une prédominance excédentaires à très excédentaires. Les années très excédentaires sont 1999, 2000, 2001, 2002, 2005, 2006 et 2011. Les années excédentaires sont 2003, 2008, 2010 et 2012. Elle compte seulement une année normale (2009) et 2 années très déficitaires (2004 et 2007). La série est entrecoupée par deux années très déficitaires (2003 et 2007).

La station de Sokone est la station la plus pluvieuse des stations du bassin du Saloum. Ce qui peut être expliqué sa position latitudinale, avec les coordonnées 13°,9 de latitude nord et 16°4 de longitude ouest, plus proche du domaine guinéen. La phase 1983 à 1998 est dominée par des années normales, déficitaires à très déficitaires. Elle n'a relevé que 2 années très excédentaires (1988 et 1994) et 4 années normales (1985, 1993, 1995 et 1997).

La période 1999-2012 est très humide. Elle ne compte que 2 années déficitaires 2004 et 2006.

Dans l'ensemble, nous remarquons une recrudescence de la sécheresse dans les stations du bassin à l'exception de la station de Sokone.

En somme la station du Sud (Sokone) est la plus humide du bassin. La station la plus sèche est celle du Nord du bassin (Fatick). Ce qui atteste encore la décroissance de la pluviométrie du Sud au Nord du bassin.

3.3.6.5. Caractérisation de la saison pluvieuse

Pour caractériser les hivernages nous allons analyser les débuts, fins, et durées des hivernages et les mois les plus pluvieux.

3.3.6.5.1. Début et Fin des hivernages

L'étude des débuts et fins de l'hivernage donne des renseignements plus clairs sur l'état de déroulement des hivernages dans le bassin du Saloum. La date d'installation des pluies est estimée après le 1^{er} mai, lorsqu'aucune période de sécheresse de plus de 7 jours n'intervient au cours des 30 jours suivants et la fin de l'hivernage au seuil de 20 jours consécutifs secs après la dernière pluie. Toutefois la date de début et de fin de l'hivernage de notre série est déterminée par l'analyse des données pluviométriques des stations des différents secteurs du bassin.

Pour les débuts d'hivernages, comme précoces, les hivernages qui débutent en mai, normaux les hivernages qui démarrent en juin, tardifs, les hivernages qui commencent en juillet et très tardifs les ceux qui amorcent en août ;

Pour les fins d'hivernages, nous considérons comme précoces les hivernages qui terminent en septembre, normaux les hivernages qui finissent en octobre et tardifs ceux qui prennent fin en novembre.

***Le secteur Nord et Nord-ouest du bassin**

A Fatick, sur la période 1983-2012, l'essentiel des hivernages a des débuts normaux. Ils démarrent au mois de juin avec des fréquences de 50 %. Cependant, nous notons des saisons pluvieuses qui démarrent tardivement au mois de juillet avec 35 % de la série et très tardivement au mois d'août avec des fréquences de 3 %.

L'installation de la saison des pluies est tardive sur les stations côtières (Mbour et Joal). En effet, de 1983 à 2012, l'essentiel des débuts d'hivernages interviennent tardivement au mois de juillet dans les deux stations.

A Mbour, 19 années sur 30 soit 63 % de la série, voient leur hivernage débiter tardivement au mois de juillet. 8 années sur 30, soit 27 % ont des débuts normaux au mois de juin. Nous notons des débuts d'hivernage très tardifs au mois d'août avec des fréquences faibles de 7 %, soit deux années de la série.

Comme à Mbour, la majorité des hivernages à Joal, 13 années sur 30, soit 60 % de la série, commencent tardivement au mois de juillet.

10 années sur 30, soit des fréquences de 33 % ont des débuts d'hivernages normaux au mois de juin. La station a enregistré 2 hivernages qui ont débuté très tardivement au mois d'août.

***Le secteur Est et Sud-est du bassin**

Dans le secteur Nord et Nord-ouest, la plupart des saisons pluvieuses ont démarré normalement au mois de juin.

A Kaolack sur la période 1983-2012, la plupart des hivernages débutent normalement au mois de juin avec des fréquences de 63 %. 10 années de la série soit 33 % ont des débuts d'hivernage tardifs au mois de juillet. La série compte une année exceptionnelle où les précipitations ont démarré très tardivement au mois d'août.

Comme à Kaolack, la station de Kaffrine voit l'essentiel de ces hivernages installés au mois de Juin avec des fréquences de 60 %. 10 saisons pluvieuses soit 33 % ont débuté tardivement au mois de juillet et 2 au mois d'août.

A Nioro, la majorité des hivernages ont démarré très tardivement au mois de juillet avec des fréquences de 60 %. 10 années soit 33 % ont des hivernages qui ont démarré normalement au mois de juin. 2 hivernages soit 7 % ont commencé très tardivement au mois d'août.

***Le Centre et Sud du bassin**

Dans toutes les huit stations du milieu d'étude, seul, le poste de Foundiougne a noté des d'hivernages précoces au mois de mai. Le plus grand nombre des années de la série, 18 années sur 30, soit 60 % ont des hivernages qui commencent au mois de Mai. 12 années sur 30, soit 40 % ont des débuts normaux au mois de juillet.

La station de Sokone, l'essentiel des hivernages a des débuts normaux. 18 années sur 30, soit 64 % ont des saisons pluvieuses qui démarrent au mois de juin. 9 années sur 30, soit 32 % voient leurs hivernages s'installer tardivement au mois de juillet.

***Le secteur Nord et nord-ouest du bassin**

Sur la période 1984-2013, les hivernages prennent fin, dans toutes les stations du milieu d'étude, normalement au mois d'octobre (tableau 25).

A Fatick, l'essentiel des hivernages se termine normalement au mois d'octobre avec des fréquences de 76 %, soit 26 années sur 30. 3 saisons pluvieuses soit 9 % ont pris fin tardivement au mois de Novembre. La station a relevé une seule année où l'hivernage a pris fin précocement au mois de septembre.

Dans la station de Mbour, comme la station précédente, l'essentiel des saisons pluvieuses a fini normalement au mois d'octobre avec des fréquences de 93 %, soit 28 années sur 30. Ce n'est que 2 fois sur les 30 ans que les fins d'hivernages ont été précoces au mois de septembre.

A Joal, comme les stations précédentes, 25 années sur 30, soit 83 % ont des fins d'hivernages normales au mois d'octobre. 5 années sur 30, soit 17 % ont vu leurs hivernages se terminer plus tôt au mois de septembre.

***Le secteur Est et Sud-est du bassin**

Kaolack, la presque totalité des hivernages a pris fin normalement au mois d'octobre avec des fréquences de 77 %, soit 23 années sur 30. Sur les 30 ans ce n'est que sept fois où la fin de l'hivernage a été tardive au mois de Novembre.

Kaffrine, 25 saisons pluvieuses sur 30, soit 83 % ont pris fin normalement au mois d'Octobre. Sur les 30 ans ce n'est que 5 fois que les hivernages ont fini tardivement au mois de Novembre.

A Nioro, la majorité des hivernages a fini au mois d'Octobre avec des fréquences de 77 %.

7 hivernages sur 30, soit 23 % sont terminés tardivement au mois de Novembre.

***Le centre et le Sud du bassin**

A Foundiougne, la majorité des années de la série a des fins d'hivernages normales au mois d'octobre avec 28 années sur 30, soit 93 %. Sur les 30 ans ce n'est que 2 fois que la fin de l'hivernage a été précoce au mois de septembre.

La station de Sokone a enregistré 29 années, soit 96 % qui ont des hivernages qui terminent normalement au mois d'octobre. Sur les 30 ans ce n'est qu'une seule fois que la fin de l'hivernage a terminé tardivement au mois de Novembre (tabl 25).

Tableau 25: Débuts et fins d'hivernage

Stations	Mois	Début hivernage				Fin hivernage			
		préc.	Norm.	Tard.	Très. Tard	Préc.	Norm.	Tard.	Total
		Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	
Fatick	Total		17	12	1	1	26	3	30
	Fréq. en %		50	35	3	3	76	9	100
Foundiougne	Total	18	12			2	28		30
	Fréq. en %	60	40			7	93		100
Mbour	Total		8	19	2	2	27		30
	Fréq. en %		27	63	7	7	90		100
Nioro	Total	1	26	3			23	7	30
	Fréq. en %	3	87	10			77	23	100
Kaolack	Total	1	19	10			23	7	30
	Fréq. en %	3	63	33			77	23	100
Joal	Total		10	18	2	4	25		30
	Fréq. en %		33	60	7	13	83		100
Sokone	Total		18	9			27	1	30
	Fréq. en %		64	32			96	4	100
Kaffrine	Total	1	21	6			25	4	30
	Fréq. en %	3	70	20			83	13	100

3.3.6.5. 2. Durées d'hivernage et mois les plus pluvieux

Sur la période 1983-2012, l'essentiel des précipitations s'étale sur 5 mois dans les stations de Fatick, Foundiougne, Nioro, Kaolack, Sokone, Joal et Kaffrine et 4 mois sur les stations de Mbour (tabl 26).

***Le secteur Nord et Nord-ouest du bassin**

La station de Fatick a connu 17 années, soit 57 % de la série, qui ont des hivernages d'une durée de 5 mois. 11 années sur 30, soit 37 % ont eu des saisons pluvieuses d'une durée de 4 mois. Sur les 30 ans, ce n'est qu'une seule fois que l'hivernage a duré 3 mois. La station n'a relevé aucune saison pluvieuse d'une durée de 6 mois.

A la station de Mbour, contrairement à la station précédente, l'essentiel des précipitations s'étend sur 4 mois. Elle a relevé 18 années sur 30, soit 60 % de la série qui a des hivernages d'une durée de 4 mois. Cependant, elle compte moins d'hivernages qui ont une durée de 5 mois et plus d'hivernages d'une durée de 3 mois. Sur les 30 ans, ce n'est que 7 fois que la saison pluvieuse s'est étalée sur 5 mois et soit 17 % les hivernages ont duré 3 mois.

A Joal, la plupart des hivernages ont duré 5 mois avec des fréquences de 43 %, soit 13 années sur 30. Il compte moins d'hivernage d'une durée de 4 mois que la station de Mbour avec des fréquences de 20 %, soit 6 années sur 30. Le poste n'a noté une saison pluvieuse de durée de 3 mois.

***Le secteur Est et Sud-est du bassin**

Kaolack compte plus d'hivernage qui ont duré 3 mois avec 8 années sur 30, soit 27 %.

De surcroît, l'essentiel des années de la série a des hivernages qui s'étalent sur 4 mois avec 46 %, soit 14 années sur 30. Les saisons pluvieuses sont plus courtes dans ce poste du domaine sahélien continental. Sur les 30 ans, ce n'est que 8 fois que l'hivernage a duré 5 mois.

A Kaffrine, la majorité de ces hivernages ont duré 5 mois. Le poste compte 19 années, soit

63 % ayant des hivernages d'une durée de 5 mois. 6 années sur 30 ont enregistré des saisons pluvieuses d'une durée de 4 mois. De 1983 à 2012 ce n'est que 3 fois que la saison pluvieuse a duré 3 mois.

Nioro présente 20 années d'hivernages sur 30, soit 67 % de durée de 4 mois. Les saisons pluvieuses qui s'étalent sur 6 mois, sont au nombre de 6, soit 20 %. Sur les 30 ans, l'hivernage a duré 3 fois 3 mois.

Le poste de Foundiougne compte 14 années sur 30, soit 47 % de la série ayant des hivernages d'une durée de 4 mois. Par ailleurs, le plus grand nombre des années enregistre des saisons pluvieuses s'étalant sur 5 mois avec 53 %, soit 16 années sur 30.

A Sokone, la durée de l'hivernage varie de 4 à 6 mois. Cependant, il compte plus d'hivernages d'une durée de 5 mois avec des fréquences de 61 %, soit 17 années sur 30. Il a enregistré 10 hivernages qui ont duré 4 mois. Sur les 30 ans, l'hivernage a duré une seule fois que 6 mois.

Sur la période 1983-2012, le mois d'août est le mois le plus pluvieux dans toutes les stations sauf à Foundiougne (tableau 26).

***Le secteur Nord et Nord-ouest du bassin**

A Fatick, sur 18 années sur 30, soit 60 % le mois d'août a été le mois le plus pluvieux. Le mois de septembre n'a été le mois le plus pluvieux que 10 fois sur les 30 ans, soit 33 % de la série. Sur les 30 ans ce n'est que 2 fois que juillet a été le mois le plus pluvieux.

Au niveau de la station de Mbour, le mois d'août a été le mois le plus pluvieux pendant 20 fois avec 67 % de la série. Sur les 30 ans, ce n'est que 10 fois que le mois de septembre a été le mois le plus pluvieux avec des fréquences de 33 %.

A Joal, août a été le mois le plus pluvieux avec 63 % de la série, soit 19 années sur 30. Le mois de septembre a été le mois le plus pluvieux pendant 11 fois avec 37 %.

***Le secteur Est et Sud-est du bassin**

A Kaolack, le mois d'août est le mois le plus pluvieux durant 21 hivernages sur 30, soit 70 %. Le mois de septembre a été 7 fois le mois le plus pluvieux. Le mois de juillet n'a été pluvieux que 2 fois avec 7 %, soit 2 années sur 30.

Kaffrine, le mois d'août a été le mois le plus pluvieux sur la majorité des années de la série, avec des fréquences de 60 %, soit 18 années sur 30. Le mois de septembre a été le mois le plus pluvieux pendant 6 fois, avec 20 %, soit 6 années sur 30. Le mois de juillet n'a été pluvieux que 4 fois avec 13 %, soit 4 années sur 30.

A Nioro, comme dans toutes les stations précédentes, le mois d'août a été le mois le plus pluvieux. Avec 67 %, soit 20 ans sur 30. Sur les 30 ans ce n'est que 5 fois que le mois de

septembre a été le mois le plus pluvieux avec des fréquences de 17 %. Le mois de juillet a été le mois le plus pluvieux pendant 5 fois.

***Le secteur Centre et Sud du bassin**

A Foundiougne, sur l'essentiel des années de la série le mois de Juillet est resté le mois le plus pluvieux avec 67 %, soit 20 années sur 30. Le mois d'août a été le mois le plus pluvieux pendant 8 fois avec 27 %. Sur les 30 ans, le mois de juin n'a été pluvieux que 2 fois, avec des fréquences de 7%. Contrairement à Foundiougne, le mois d'août reste le mois le plus pluvieux avec 60 % des fréquences, soit 17 années sur 30. Le mois de septembre a été le mois le plus pluvieux pendant 8 hivernages, soit 29 %. Le mois de juillet a été 11 fois le mois le plus pluvieux (tabl 26).

Tableau 26: durée d'hivernage

Station	Durée hivernage					Mois les plus pluvieux					Total
	Mois	3 mois	4 mois	5 mois	6 mois	7 mois	Juin	Juil.	Août	Sept.	
Fatick	Nombre	1	11	17	1			2	18	10	30
	Fréq. en %	3	37	57	3			7	60	33	100
Foundiougne	Nombre		14	16			2	20	8		30
	Fréq. en %		47	53			7	67	27		100
Mbour	Nombre	5	18	7					19	11	30
	Fréq. en %	17	60	23					63	37	100
Nioro	Nombre		3	20	6	1		5	20	5	30
	Fréq. en %		10	67	20	3		17	67	17	100
Kaolack	Nombre		7	18	5			2	21	7	30
	Fréq. en %		23	60	17			7	70	23	100
Joal	Nombre	1	6	13	10			1	22	7	30
	Fréq. en %	3	20	43	33			3	73	23	100
Sokone	Nombre		10	17	1			3	17	8	30
	Fréq. en %		36	61	4			11	60	29	100
Kaffrine	Nombre		6	19	4			4	18	6	29
	Fréq. en %		20	63	13			13	60	20	100

En somme, l'étude des données pluviométriques des différents secteurs nous a permis de mieux comprendre le caractère des précipitations dans le Bassin du Saloum. L'hivernage débute normalement dans le bassin au mois de juin et se termine en octobre. A l'exception de Kaffrine, le mois d'août est considéré comme le plus arrosé de l'hivernage suivi de Septembre.

3.3.6.6. Coefficient pluviométrique des années excédentaires

Les coefficients pluviométriques des années excédentaires montrent que c'est l'année 2012 qui est effectivement plus pluvieuse dans la station de Fatick (voir tableau 27). Ces excédents pluviométriques par rapport à la moyenne 1983-2012 évoluent de manière irrégulière. Ils sont passés de 16,4 % en 1989 à 26,4 % en 1995. Puis, ils ont rechuté jusqu'à atteindre 13,7 % en 1999. Ils ont remonté en 2000 avec 31,8 %, cette tendance se poursuit après une hausse de 42 % en 2008. Puis, ils sont passés de 51,8 % en 2009 à 41,1 % en 2010 pour atteindre 55,9 % en 2012.

Contrairement à Fatick, l'année 2000 est la plus pluvieuse à Foundiougne. Les excédents sont passés successivement à 44,4 % en 1989, à 34,4 % en 1995, à 45 % en 1998 à 48,3 % en 2000, à 36,1 % en 2001 à 30,3 % en 2002, à 13,4 % en 2003 et à 39,5 % en 2005 à 24,4 % en 2006 à 12,5 % en 2008 à 19,6 % en 2010 à 28,5 % en 2011 et à 31,1 % en 2012.

Nous notons que la station de Mbour a 10 années très humides, soit 33 % de la série 1983-2012. Les surplus dépassent 20 % dans les années 1988, 1989, 2000, 2009, 2010 et 2012. Contrairement aux années 2005, 2006, et 2008 où les excédents étaient de moins de 20 %. C'est l'année 2009 qui est la plus pluvieuse avec un surplus de 55,3 %.

La station de Nioro, au Sud du bassin du Saloum, a enregistré 9 années excédentaires soit 30 % de la série. La station a recueilli 12,1 % en 1987, 20,7 % en 1988. Puis les excédents culminent en 2000 avec 22 %. Ensuite, ils ont régressé jusqu'à atteindre 13,8 % en 2001 et en 2003, les pluies ont augmenté avec des surplus de 28,4 %. Ils ont rechuté en 2008 et en 2009 avec respectivement 17 et 14,2 %. Ensuite, ils ont atteint respectivement en 2010 et 2012 61,5 et 21,6 %.

Contrairement à la station de Nioro, la station de Kaolack n'a que 5 années très humides. Les excédents sont passés successivement à 40,5 % en 1999 à 22,8 % en 2005 à 30 % en 2007, à 36,5 % en 2006 et en 36 % en 2012. Nous remarquons que l'année 1999 est la plus humide avec un excédent qui dépasse 40 %.

La station de Joal compte 6 années très excédentaires. Les surplus sont décroissants en 1989 et 2001 avec respectivement 49 % et 27,2 %. Ils culminent en 2005 avec plus de 90 %. Un excédent qui n'a jamais été enregistré dans toutes les stations du bassin. Après, nous notons une rechute des excédents en 2008 (37,2%) et en 2009 (21,4 %). Ensuite ils ont remonté en 2012 avec 43,3 %.

A Sokone, 5 années très excédentaires. Les surplus sont passés successivement de 39,1 % en 1988, à 40,7 % en 1999 et à 55,4% en 2005 à 28,5 % en 2007.

La station de Kaffrine a enregistré 6 années très humides avec des excédents qui dépassent de loin 20 %. Il s'agit de 1988 (22,3 %), 1999 (27,1 %), 2004 (25,6 %), 2005 (38,5 %), 2010 (86,2 %) et 2012 (34,5 %) (Tabl 27).

Tableau 27: Coefficient pluviométrique des années excédentaires

Stations	Fatick	Foundiougne	Mbour	Nioro	Kaolack	Joal	Sokone	Kaffrine
1983								
1984								
1985						117,4		
1986								
1987				112,1		114,1		
1988			127,7	120,7			139,1	122,3
1989	116,4	144,4	122,5		114,7	149		
1990								
1991								
1992								
1993								
1994							121,1	
1995	126,4	134,4						
1996								
1997								
1998		145						
1999	113,7				140,5		140,7	127,1
2000	131,8	148,3	150,3	122	117,2	116		
2001		136,1		113,8		127,2		
2002		130,3						
2003		113,4		128,4			115,4	
2004								125,6

2005	113	139,5	118,7		122,8	203,2	155,4	119,5
2006		124,4	113,2			117,7		115,4
2007					130		128,5	
2008	142	112,5	111	117		137,2	111,2	138,5
2009	151,8		155,3	114,2	118,6	121,4	112,6	
2010	141,1	119,6	155	161,5	136,5			186,2
2011		128,5	104				114,2	
2012	155,9	113,1	126,1	121,6	136	143,3		134,5

3.3.6.7. Evolution des précipitations en années déficitaires

Les années déficitaires sont celles qui ont des valeurs inférieures ou égales à 90 % de la moyenne. Les années identifiées dans le tableau sont reconnues comme telles. Les années, 1983, 1990 et 1991 sont très déficitaires dans toutes les stations du bassin du Saloum (tableau 28).

Tableau 28: évolution des précipitations en années déficitaires

Stations	Fatick	Foundiougne	Nioro	Joal	Sokone	Mbour	Kaffrine	Kaolack
Moyenne	591,7	621,8	759,6	548	656,1	545,7	641,8	625
1983	272,5	261	417,5	349,1	418	344,5	440,7	304,8
1984	534,8	384	540,7		521,7	446,2	557	
1985		562,4	532,3			472	557,2	
1986	451,8	539,3			593,2	372,6		
1987					461,2		526,8	550,9
1988								
1989					551,9			
1990	314,7	183,7	554,1	445,5	477,1	436,3	492	454,3
1991	428,7	537,9	513,3	423,1	512,4	469	463	463,3
1992	466,7	483,4		435,5	442,9	479,6	539,2	522,1
1993						434,7		560,6
1994						437,7		
1995						490,9	489,4	453,1
1996	439		524,7	368,4	555,3		553,2	457,2

1997	396,8		630,2	336,2	544,1	347,3	507	512,4
1998	472,6	429,4	585,4	424,7		448	427,1	433,9
1999				382,2				
2000								
2001								
2002	462,7		613,2			311,5	518,4	
2003				236,9		389,4	535,7	535,7
2004	510,7			494,2		356,3		
2005								
2006			644,9					
2007	336,6	293,6		340,5		342,5	533,6	488
2008								
2009								
2010								
2011	476,7							551,2
2012								

3.3.6.7. 1. Le secteur Nord et Nord-ouest

L'étude comparée des précipitations à celle de la moyenne montre que la série 1983-2012 est presque sèche dans la station de Fatick. Plus de 40 % des années de la série sont déficitaires. En effet, dans les années 1984 et 2004 la pluviométrie n'a même pas atteint 600 mm, alors que la moyenne annuelle représente 802 mm. Dans les périodes années 1983, 1986, 1990, 1991, 1992, 1996, 1997, 1998, 2002, 2007 et 2011, la pluviométrie est comprise entre 200 et 400 mm. A l'exception des années 1992, 1996, 1998, 2002 et 2011, qui ont enregistré plus de 400 mm. L'année 1983 est l'année la plus déficitaire avec seulement 272,5 mm. Elle est suivie de l'année 1990 avec 314,7 mm et de 2007 avec 336,6 mm.

La station de Joal compte 11 années de déficits prononcés par rapport à la moyenne. Nous notons que ces 11 années ont reçu des précipitations inférieures à 500 mm. En effet les années 1983, 1996, 1997, 1999, 2003 et 2007 présentent des pluies inférieures à 400 mm pour une moyenne de 621,29 mm. Cependant, les années 1990, 1991, 1992, 1999 et 1999 ont enregistré des pluies qui dépassent à peine 400 mm. L'année 2003 est la plus déficitaire avec seulement 236,9 mm de pluie.

La station de Mbour compte plus d'années déficitaires que les stations de Fatick et Joal. Elle a enregistré 16 années déficitaires par rapport à la moyenne. Ces années 1983, 1984, 1985, 1986, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1997, 1998, 2002, 2003, 2004 et 2007 ont recueilli des précipitations inférieures à 500 mm.

3.3.6.7. 2. Le secteur Est et Sud-Est

La station de Kaolack compte 13 années déficitaires. Elles ont enregistré des précipitations inférieures à 600 mm. Les années les plus sèches sont 1983 (304,8 mm), 1990 (454,3 mm), 1991 (463,3 mm), 1996 (457,2 mm), 1998 (433,9 mm) et (488 mm).

Comme à Kaolack, Kaffrine a enregistré 13 années déficitaires par rapport à la moyenne de la série (641,8 mm). Les années les plus sèches sont 1983, 1990, 1991, 1995 et 1998. Elles ont accusé des cumuls annuels inférieurs à 500 mm.

Nioro présente moins d'années sèches que les 2 autres stations du secteur Est et Sud-est.

La station compte 10 années très déficitaires. En plus les déficits sont moins accusés. En effet, Ces années (1983, 1984, 1985, 1991, 1992, 1996, 1997, 1998, 2002 et 2006) ont enregistré des précipitations comprises entre 400 et 700 mm. L'année la plus sèche est 1983 avec 417,5 mm.

3.3.6.7. 3. Le secteur Centre et Sud

La station de Sokone n'a enregistré que 11 années déficitaires. Ces années (1983, 1984, 1986, 1987, 1989, 1990, 1991, 1992, 1996, 1998, 2004 et 2005) ont recueilli des cumuls compris entre 400 et 600 mm. Les années les plus sèches sont 1983, 1987, 1990 et 1992. Elles ont enregistré moins de 500 mm de précipitations. L'année 1990 est l'année la plus déficitaire de la série avec 418 mm. Contrairement à la station du Sud (Sokone), la station du centre (Foundiougne) présente moins d'années déficitaires. Cependant, les déficits sont plus prononcés. Ces années particulièrement sèches sont au nombre de 9 soit 30% des années de la série. Il s'agit de 1983, 1984, 1985, 1986, 1990, 1991, 1992, 1998 et 2007. Elles ont enregistré des déficits compris entre 200 et 600 mm. Les années les plus sèches sont 1983, 1990 et 2007. Elles ont reçu des cumuls inférieurs à 300 mm.

La figure 23 qui suit traduit le retrait des isohyètes vers les sud pour les normales 1931-1960 et 1961-1990. Ce retrait confirme bien les caractéristiques des hivernages dans le bassin du Saloum et dans les régions bordures.

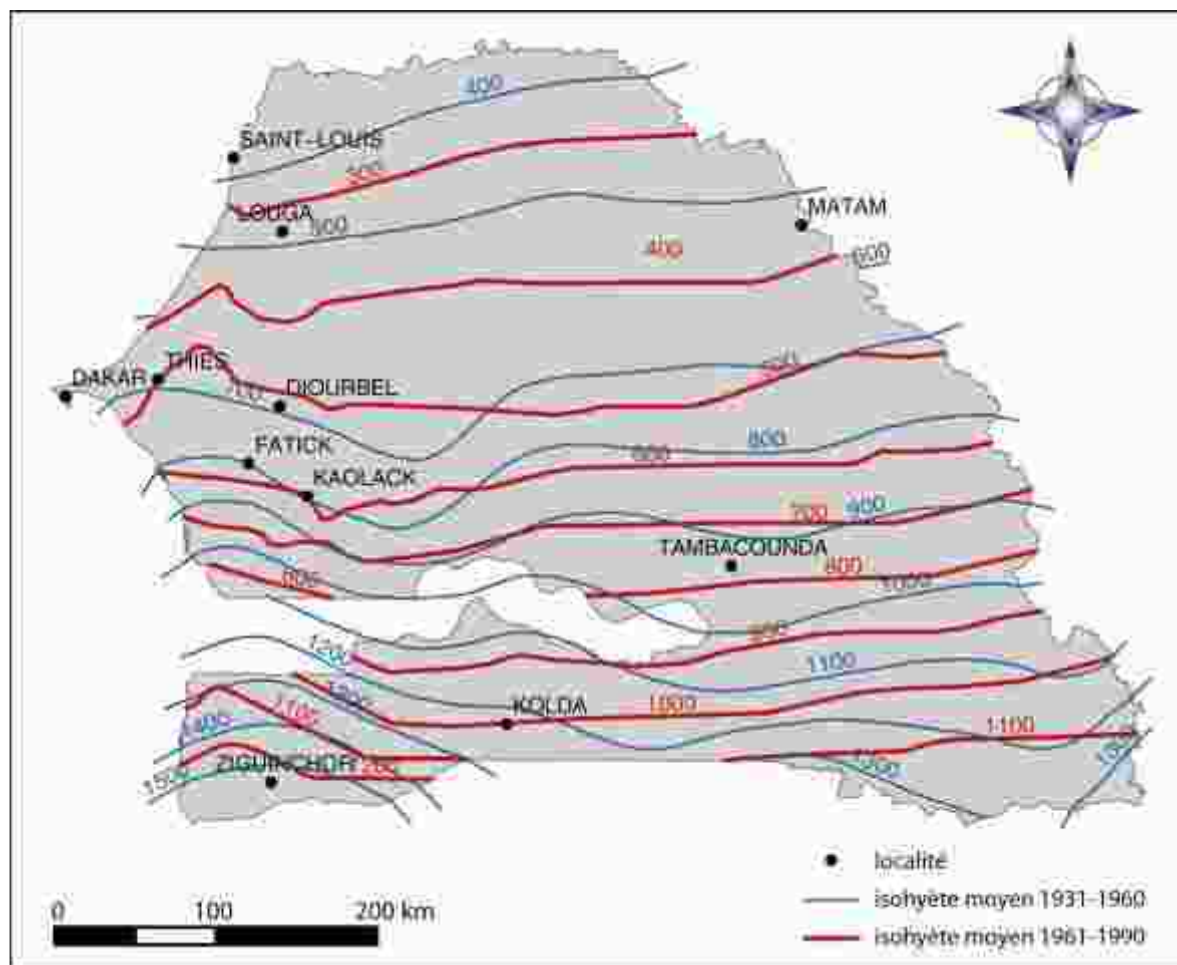


Figure 23: Evolution comparée des isohyètes sur le Sénégal de 1931 à 1990 A.
Jacoutot/IGA (2006)

Conclusion partielle

L'analyse des paramètres climatiques, montre que le cadre physique général, est marqué par sa position géographique, en particulier, l'effet de couloir joué par le Saloum au sein de la zone soudanienne.

De cette étude, se dégagent les constats suivants :

- de 1983 à 2012, toutes les stations ont connu un déroulement de l'hivernage irrégulier avec une variation mensuelle des débuts et fins d'hivernage. Cependant toutes les stations n'ont pas le même niveau d'irrégularité et n'évoluent pas de la même manière. Foundiougne, Joal et Kaffrine, sont les seules stations où l'hivernage finit en dernière position. Elles constituent les stations dont le déroulement de la saison pluvieuse est le plus irrégulier ;
- les stations qui manifestent des débuts et fins moins variables sont en même temps celles qui affichent des longueurs de la saison pluvieuse moins variables. Inversement, les stations à et fins très variables connaissent des durées très variables.

- la recrudescence des vents à partir de 1987, phénomène corrélable à la situation climatique d'ensemble dans le domaine tropical ;
- la prédominance et le renforcement des vents d'Est générateurs de pluie de mousson et du placage de sable éolien sur les vastes étendues de tannes nus à partir de cordons sur le bas plateau du C.T ;
- le long du littoral de la Petite Côte, sont observées les plus importantes vitesses entre 1986 et 1989, et de 1986 à 1990. Tous les vents d'Est ont une efficacité morphologique ;
- la décennie 1991-2000 a connu une baisse de compétence des vents avec des vitesses inférieures à 5 m/s.
- sur le Sine, les vents d'Est constituent 66,7 % à 100 % du total avec des célérités allant de 2,7 m à 5,4 m/s, tandis que sur le Saloum, ils sont de 80 % évoluant entre 3,7 m/s et 4,7 m/s.
- un accroissement du volume d'eau précipité dans toutes les stations à partir de 2000 :
Joal 550,80 mm ; Sokone 656,27 mm ; Foundiougne 922 mm contre 877,34 mm en 1960 .
- les précipitations sont plus importantes au Sud, au centre et à l'Est des îles ; stations par où arrivent en premier lieu, des lignes de grains ;
- le nombre d'années excédentaires va croissant de l'Est vers l'Ouest : Kaffrine 14 ; Kaolack 18 ; Fatick 19 ; Mbour 17 ;
- la croissance des températures maximales avec une évolution à la baisse de l'Est vers le littoral : Kaolack 36°57C, Mbour 33°85C avec de faibles coefficients de variation 0,33 à 0,02 ;
- la prédominance de la dynamique éolienne sur la dynamique estuarienne génératrice de sédiments.

Cette situation climatique permet d'expliquer plusieurs cas de figure :

- le couvert végétal desséché, la mangrove rabougrie ou inexistante le long de certains bolongs ; phénomène accentué par la salinisation ;
- la multiplication des lunettes et pseudo lunettes sur quelques tannes nus.

Dans l'ensemble, l'étude du climat révèle un contraste entre le littoral et l'Est d'une part, et d'autre part, entre le Nord et le Sud.

Les conséquences morphogéniques et hydrologiques de ce déséquilibre sont défavorables au milieu d'autant plus que chaque élément du climat constitue un facteur d'érosion ou de dégradation. Turmine V (2001) observe, « la domination des processus morphogéniques continentaux et maritimes de type éolien malgré l'existence de processus hydriques au cours de l'hivernage ».

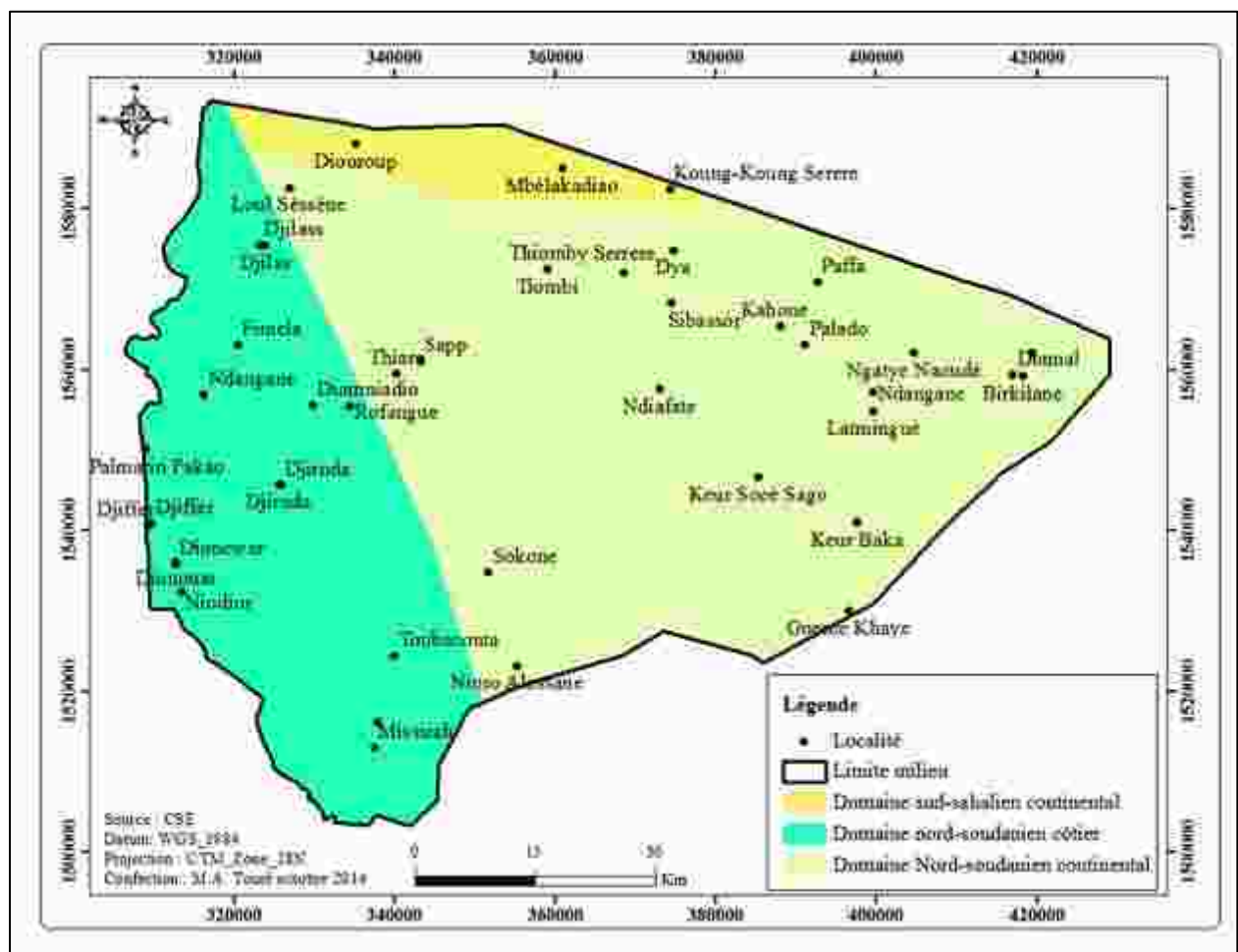
Par ailleurs, dans les régions bordures, « la dynamique éolienne contribue à la formation de dunes vives le long de la côte suivant une progression NW-SE. Elles provoquent des ensevelissements de formations végétales voisines ou l'érosion des dunes au niveau des siffles-vents. Les volumes sont relativement importants comme le montre l'estimation de 150 g.m⁻².an⁻¹ pour Mbour (1986-1987) et 200 g.m⁻².an⁻¹ pour Dakar (1984-1994) (GAC et al, 1990 et 1994), soit une masse de 250 t.an⁻¹ sur les 30 km qui séparent Joal de Mbour ».

Dans l'ensemble, les déficits hydriques récurrents ont engendré l'accentuation des processus éoliens et l'extension des tannes aux dépens des terres agricoles et l'ensablement des rizières insulaires et continentales.

La répartition des stations a permis la division du bassin versant et des régions bordures en domaines climatiques :

- domaine sud – sahélien continental ;
- domaine nord – soudanien côtier qui englobe la plus grande partie des îles ;
- domaine nord- soudanien continental comprenant les régions de bordures (cf. carte 18).

Carte 18: domaines climatiques du bassin versant et des régions de bordures



Chapitre 4 : les conditions océanographiques et estuariennes

Introduction

4.1. Morphologie et bathymétrie

4.2. Répartition des sédiments du plateau continental de la Petite Côte

4.3. Les facteurs généraux des conditions océanographiques

4.3.1 Les Courants et les masses d'eau

4.3.2. Les houles

4.3.2.1. La houle du NW

4.3.2.2. La houle du SW (N180° à 230°E)

4.3.2.3. Les Caractères des houles sur la Petite Côte.

4.4. Les marées

4.5. La dérive littorale

4.6. Les facteurs secondaires dans le système estuarien.

4.6.1. Les vagues

4.6.2. Les autres types de courants.

Conclusion partielle

Introduction

Dans ce chapitre, notre support a pour fondement les travaux de Domain (1976, 1977), de Merle (1978) et de Rebert et Prive (1974), d'Einsle *et al*, (1974); de Cram, (1979), de Clarke et Battisti, (1981), de SOGREAH, en 1980-1981, enfin de Diara M en 1999. Nous retenons de leurs écrits tirés de ceux de Diara M (1999) que « le courant dominant le long de la partie septentrionale de l'Afrique est le courant des Canaries. Il est issu du tourbillon subtropical nord-atlantique, descend vers le sud le long des côtes de la Mauritanie et du Sénégal et se sépare, à hauteur de la côte sud sénégalaise, en deux branches opposées:

- le courant nord équatorial, dirigé vers l'ouest,
- le courant de Guinée, enraciné principalement dans le contre-courant équatorial.

Les conditions océanographiques et estuariennes sont analysées à travers les facteurs généraux comme les courants, les masses d'eaux, les houles et marées, les dérives littorales auxquelles s'ajoutent les vagues et les autres types de mouvements comme facteurs secondaires.

Ces conditions océanographiques sont engendrées par la circulation atmosphérique générale d'une part, et d'autre part, d'autres phénomènes, comme la marée, sont sous la dépendance de facteurs cosmiques comme la double attraction exercée par le soleil et la lune.

D'abord, une analyse de la configuration morphologique de l'embouchure du Saloum ainsi que de celle de la répartition des sédiments sur le plateau Continental, s'avère nécessaire.

La réflexion porte sur la morphologie, la bathymétrie ainsi que les provinces sédimentologiques du large. Dans ce sens, beaucoup de spécialistes nous ont été d'un grand

apport, comme Nonn H (1974), Tricart J. (1978) Diop E.S (1977), Domain F (1977), Cojan Isabelle et Renard Maurice (1999) qui ont défini les notions d'estuaire, de marée et de delta ; de même que leur genèse. Nonn H (1974) situe les estuaires aux parties terminales des organismes fluviaux. « Propres aux côtes à marée, par définition, les estuaires correspondent aux parties terminales des organismes fluviaux (Nonn H 1974) ».

4.1. Morphologie et Bathymétrie.

Dans ce domaine, les travaux de Diop E.S (1986) nous ont été très bénéfiques. Ils soulignent « deux types de côtes appartenant à la classe des côtes de bord traînant (côtes afrotrainantes), plus précisément deux peuvent être distinguées :

- les côtes de plaine basse au Sud du Sénégal et de la Gambie, dont le plateau continental est d'une largeur moyenne et qui deviennent progressivement vaseuses vers le Sud sous l'influence des zones d'estuaires et de mangrove du Saloum, de la Gambie et de la Casamance ;
- Les côtes de plaine deltaïque, qui correspondent à un plateau continental large, s'étendant de la Casamance jusqu'à la Sierra Léone, et qui sont parcourues par toute une série de chenaux de marée, colonisés à des degrés divers par la mangrove, siège de remaniements perpétuels ».

La figure 24, tirée de la thèse d'Isabelle Niang (1995), illustre ces différents types de côtes.

Mais dans le tracé à l'échelle de la dizaine de kilomètres, le littoral sénégalais comporte plusieurs segments côtiers :

- un littoral Nord : de Dakar à Saint-Louis (Grande côte), à plages sableuses bordées de dunes s'étendant sur plus d'un km à l'intérieur du continent et où l'activité principale est la pêche ;
- une côte rocheuse au niveau de la Presqu'île du Cap vert à forte concentration d'activités économiques et d'infrastructures et donc de populations ;

- un littoral sud de Dakar à Joal (Petite Côte), puis en Casamance, à plages sableuses limitées par un cordon littoral de faible étendue et où l'activité économique dominante est le tourisme ;
- des estuaires à mangrove où la riziculture est possible (estuaires du Sénégal, du Saloum et de la Casamance). Les estrans continuent au large par le plateau continental de largeur variable. « L'ensemble du plateau continental des Rivières du Sud est constitué par un large plateau de pente très faible. En fait, au droit de la Petite Côte, nous constatons une pente de 0,15 à 0,2 % entre le rivage et l'isobathe -100 m soit une distance de 60 km tandis qu'au large de la Guinée, le plateau Continental s'étend sur environ 140 km, soit une pente de 0,06 %. Cette faible profondeur favorise l'amplification des marées (4 à 7 m pour la Guinée et 1,5 à 2 m pour la Petite Côte) mais également l'inefficacité des houles de forte amplitude » (Turmine V 2001).
- des flèches littorales, notamment celles de la langue de Barbarie, la flèche de Sangomar ou la Presqu'île aux Oiseaux (Sall 1982, Niang 1990) ».

L'embouchure du Saloum, correspond au premier type de côte. Dans le détail, il s'agit d'une côte à rias sur sédimentation récente avec un réseau hydrographique anastomosé. Au droit du delta du Saloum, s'allongent deux flèches mobiles en direction du Sud dont l'une coupée en 1987, constitue l'île de Sangomar, et l'autre fonctionnelle, s'étale au droit de Dionewar. Cette dernière est le résultat de la dérive des sédiments sablo-coquilliers à partir de la rupture du Lagoba.

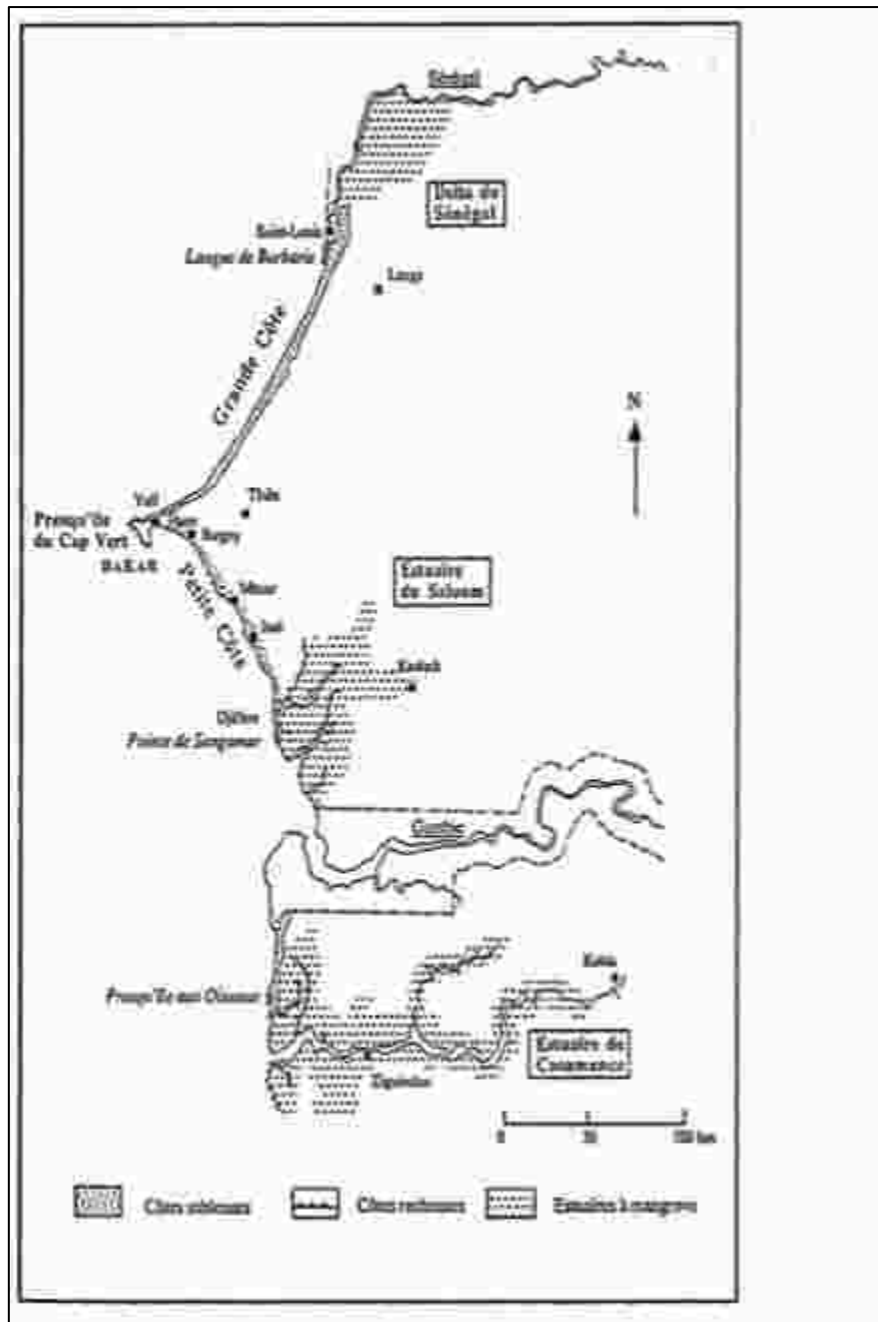


Figure 21: principaux types de côtes au Sénégal (Niang I 1995)

L'archipel se termine au Sud par la pointe Jackonsa, Bétenty, les îles aux Bœufs et l'île aux Oiseaux.

Au droit de l'île de Sangomar, le plateau Continental est large de « 70 km avec une pente faible jusqu'à 100 m de profondeur (entre 0,1 et 0,3 %) s'accroissant brusquement au-delà (Diop ES 1986) ».

4.2. Répartition des sédiments du plateau continental de la Petite Côte :

Le plateau continental de la Petite Côte, est le prolongement occidental du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien.

Le plateau continental des Rivières du Sud, montre une certaine diversité dans sa forme mais surtout par ses dépôts :

- ainsi « au Nord, un plateau dominé par des dépôts sableux probablement hérités et où les dépôts vaseux semblent relictuels au droit des grands fleuves (Saloum, Gambie et Casamance) ;

- au large de la Guinée Bissau, le plateau continental atteint sa largeur maximale (140 km à moins de 20 m de profondeur), et où se développe un large delta consécutif aux volumes importants de sédiments détritiques issus du Fouta Djallon ;
- au Sud, le plateau continental est relativement moins large avec des dépôts vaseux qui restent concentrés près des côtes tandis que se constituent progressivement quelques deltas sous-marins » (Turmine V 2001).

Ce plateau continental au large de la côte sud jusqu'en Casamance, comporte aussi des bancs et affleurements rocheux comme le souligne la figure 25 proposée par Domain F (1977).

La figure N° 29 montre que les affleurements rocheux sont parallèles au littoral, dépassent la latitude de l'embouchure de la Casamance et restent enserrés entre les isobathes 20 et 50 m.

Mais dans la situation actuelle, l'ensablement est tel que ces affleurements ne sont visibles qu'à marée basse. A ces bancs et affleurements rocheux, s'ajoutent les dépôts liés aux fluctuations eustatiques quaternaires. Comme le souligne Turmine V (2001) « le plateau continental est également constitué par des dépôts corrélatifs aux fluctuations glacio-eustatiques ». Concernant le plateau continental de la Petite Côte proprement dite, du littoral au large, se distingue une toposéquence de sédiments sableux devenant de plus en plus fins et purs « moins de 5% de lutites ». Se rencontrent aussi :

- des sables grossiers avec des lamelles d'ilménite et à débris de coquilles entières, et contenant souvent de la matière organique ;
- des sables moyens à fins sur la berme et au-delà ;
- des sables fins purs.

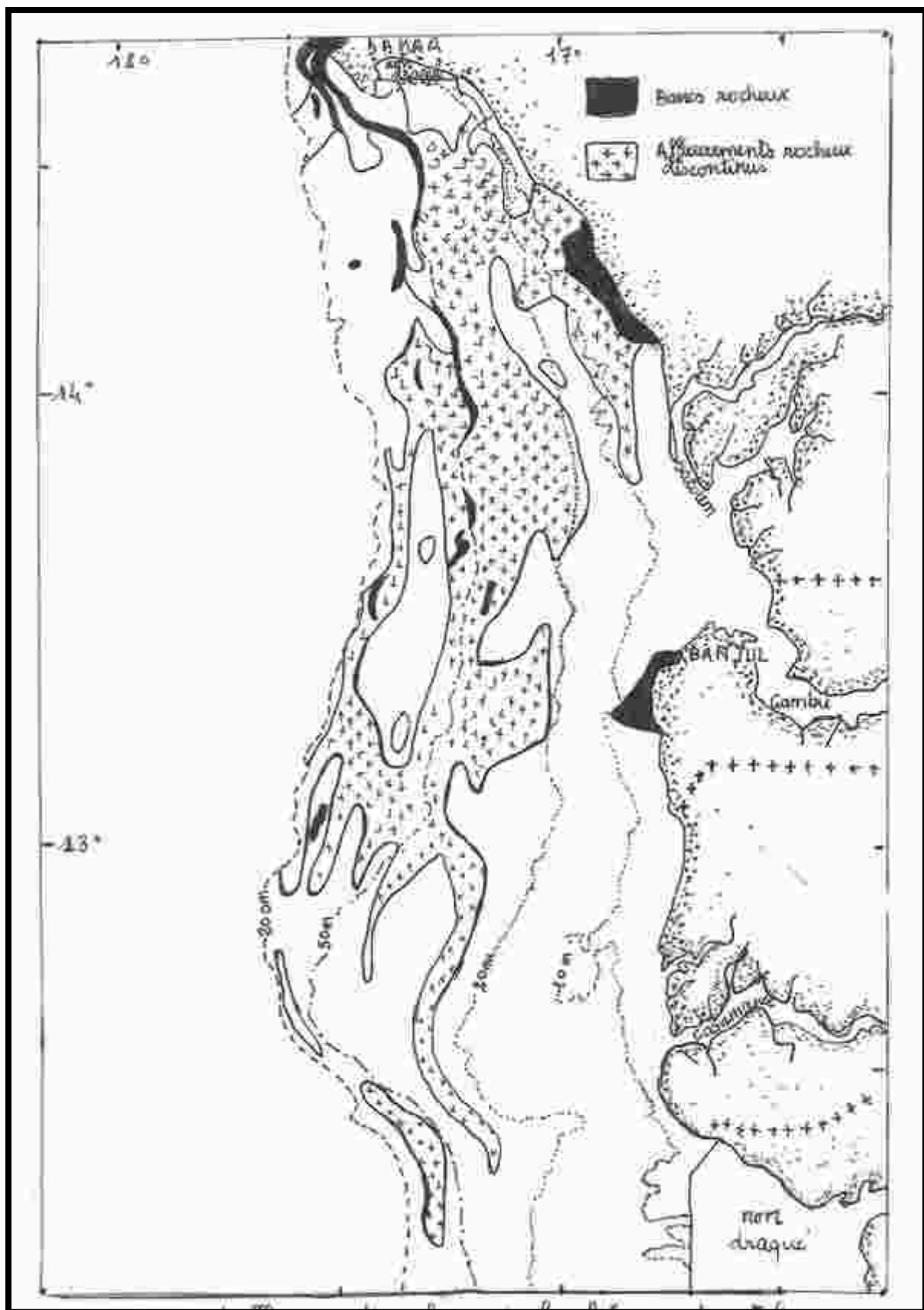


Figure 22: bancs et affleurements rocheux sur le plateau Continental de Dakar à 12°N

Domain F in ASEQUA N° 50 Juin 1977

Les sables à l'état pur sur « moins de 5 % de lutites sont abondants sur le plateau continental jusqu'à moins 80 m, de Dakar à l'embouchure de la Casamance » Domain F. (1977).

La figure 26 proposée par Domain F in ASEQUA n°50 (1977) donne au delta du Saloum, du littoral au large, les faciès suivants :

- un faciès sablo-vaseux de « 50 à 25 % de lutites » accompagnant tous les chenaux de marées ;
- un faciès sableux beaucoup plus fin au sud de l'île de Sangomar contenant « 25 à 5 % de lutites » ;
- une série d'affleurements rocheux du nord au sud ».

Dans la situation actuelle, ces faciès peuvent subir de légères modifications dans leur étendue et dans leur teneur.

Par la figure 27, Barusseau et *al* (1988), proposent une répartition des sédiments sur le plateau continental au sud de Dakar. Et d'après eux, « les sédiments qui prédominent sur le plateau continental sont des sables moyens (160-500 μ m) en particulier entre 25 et 75 m de profondeur, mais aussi sur les hauts fonds proches du littoral. Il s'agit de sables carbonatés biogènes (carbonatés en général supérieur à 40 %). Ils ne sont pas en équilibre avec les conditions hydrodynamiques actuelles et présentent une sédimentation relique.

Ce serait d'anciens sédiments éoliens, vraisemblablement ogoliens, qui auraient été remaniés par la mer et les fleuves lors de la transgression nouakchottienne (conf fg 27) ».

Mais, les conditions hydrodynamiques actuelles ont favorisé un apport de sédiment à partir de l'érosion du bas plateau du CT. La composition du sédimentaire diffère d'un segment côtier à l'autre.

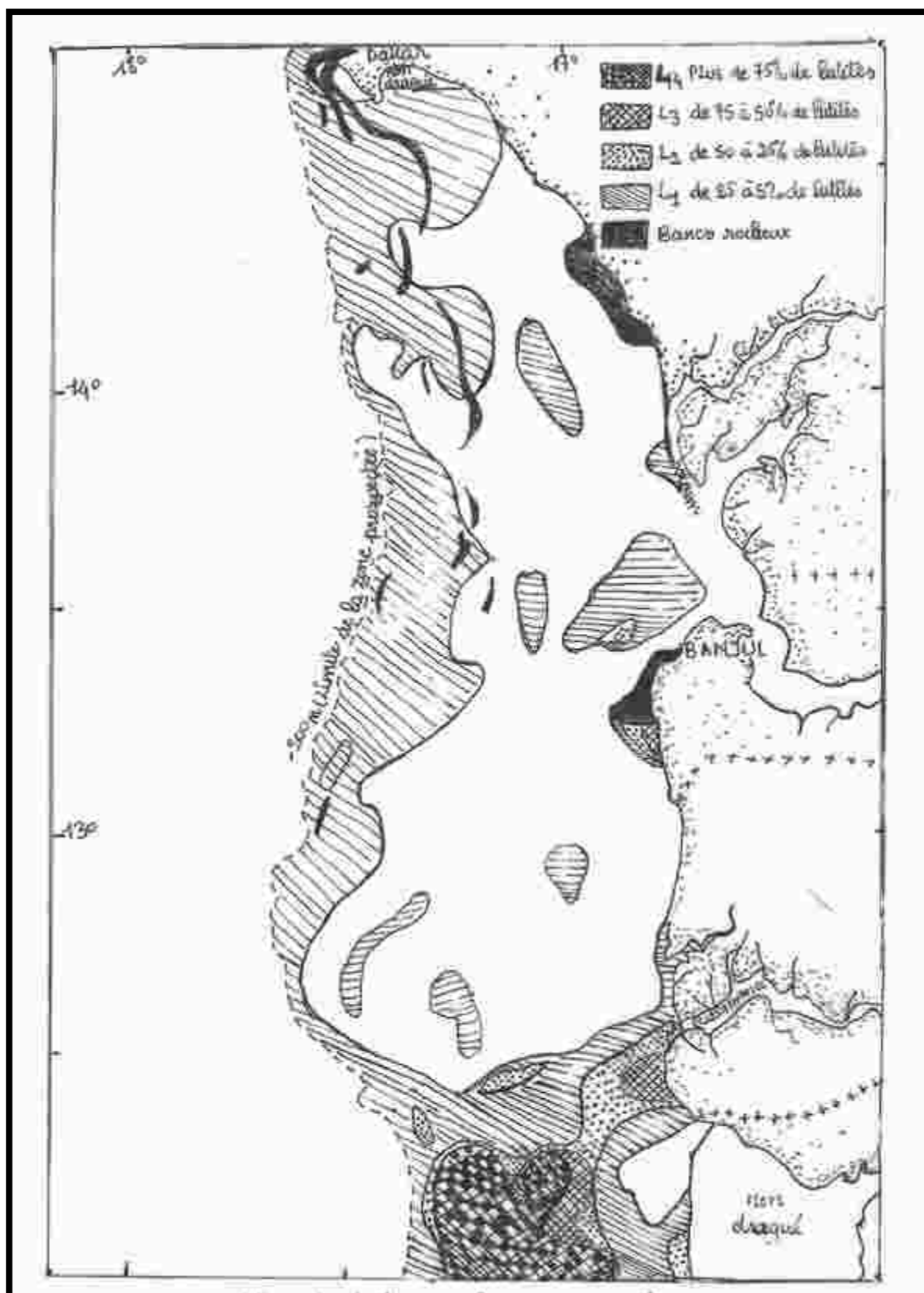


Figure 23: répartition des lutites sur plateau continental de Dakar à 12°N

Domain F in ASEQUA N° 50 Juin 1977

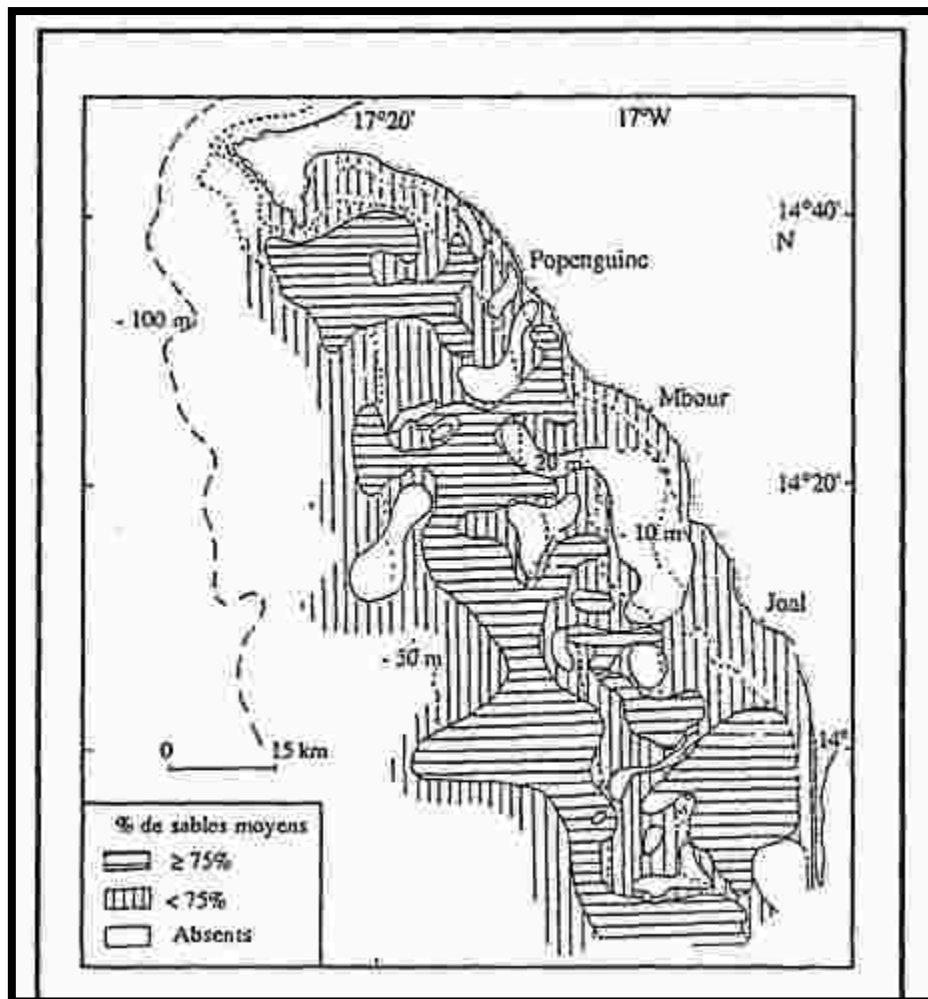


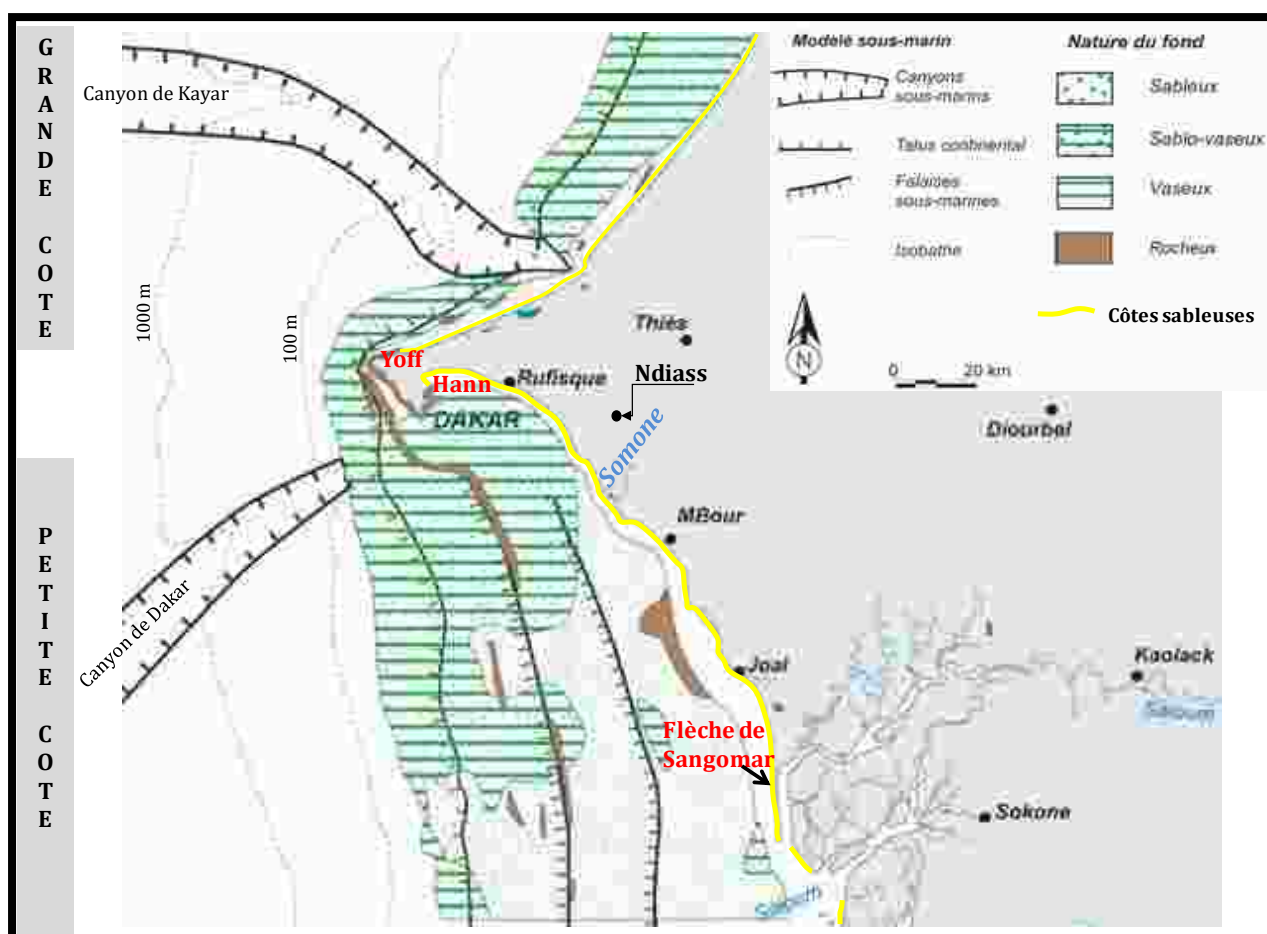
Figure 24: Répartition des sables moyens (mode 160 à 500µm) sur Le plateau continental au sud de Dakar Barusseau et al (1988)

Ce qui explique la citation de Turmine V (2001) « au Nord, on trouve un plateau drainé par le canyon de Dakar qui canalise les produits de la dérive littorale amont. Au large de la Petite Côte, se rencontre une série d'escarpements que Guiraud (1985) et Bellion (1987) associent aux failles subméridiennes. Les principaux escarpements se situent à – 75 m et – 35 m (Domain, 1977). La texture de ce plateau continental est peu alimentée en éléments détritiques vaseux et reste donc dominée par une couverture sableuse peu épaisse.

Néanmoins, se constatent des zones sablo-vaseuses au sein du talus continental (- 100 m) et quelques vasières au débouché de la Casamance au sud. La couverture sableuse du plateau continental de la Petite Côte est probablement d'origine éolienne.

En effet, lors de la régression Ogolienne (31 000 - 18000 BP), le niveau de la mer a atteint – 120 m laissant se développer une série d'alignements dunaires orientés NE - SW. C'est ce qui ressort de l'observation de cette carte 19 donnée par Turmine, (2001).

Carte 19: Fonds marins de la Petite Côte du Sénégal



Turmine V, (2001)

4.3. Les facteurs généraux des conditions océanographiques.

Les océans jouent un rôle primordial dans l'équilibre des températures de la terre et leurs relations avec les basses couches de l'atmosphère, contribuent à l'évolution du système climatique. Ils jouent le rôle de thermostat qui régule le climat.

« La disposition des courants sur les côtes ouest-africaines est régulée par les variations saisonnières des cellules courantologiques liées au courant des Canaries et au courant de Guinée (Barusseau et *al*, 1999). Ces courants influencent l'action des courants de marée sur l'avant-côte du littoral sénégalais (Diop E.S, 1990). La marée est de type semi-diurne. L'amplitude tidale est inférieure à 2 m, qualifiant ainsi les côtes du Sénégal, de domaine micro tidal (Sakho 2011) ».

4.3.1. Courants et masses d'eau.

Selon De Mix et *al* (1986), « la façade Nord-occidentale de l'Afrique, qui appartient à l'Atlantique tropical, est caractérisée par deux circulations océaniques superficielles zonales, liées aux alizés qui se déplacent latitudinalement entre 5° N (janvier) et 15° N (août), en même temps que la zone intertropicale de convergence.» (ZITC).

Ces vents induisent plusieurs courants. Ces courants de surface comme de profondeur, latéraux ou verticaux, ont fait l'objet d'analyses détaillées par Munk (1950), Tchernia (1978), Isabelle Cojan et Maurice Renard (1999), qui lient les mouvements de l'océan aux vents. Ainsi, « les alizés et les vents d'Ouest forment des couples de forces déterminant dans chaque hémisphère une cellule de circulation anticyclonique des eaux superficielles. Chaque cellule comporte une branche équatoriale (E-W) et une branche subpolaire (W-E) ; les deux branches sont réunies par des circulations méridiennes sensiblement parallèles aux limites continentales.

A ce schéma d'ensemble, s'ajoute dans l'hémisphère nord, une circulation cyclonique.

« La branche nord de la cellule anticyclonique (Gulf Stream Jusqu'à Terre Neuve, puis dérive nord atlantique) pour sa plus grande part (environ 80 %) migre vers le Sud-est pour venir boucler le circuit anticyclonique, tandis qu'une part de moins de (20 %) migre vers le Nord-est et participe à la branche orientale de la cellule cyclonique subpolaire ». (Cojan I. et Renard M 1999). Les scientifiques ont constaté que « le Gulf Stream (vitesse moyenne de l'ordre de

1 m/s, dont la section horizontale est de 100 km environ, a un débit de l'ordre de 100 Sverdrup (100 millions de m³/s), équivalent à celui engendré par le courant périanarctique beaucoup plus lent (vitesse moyenne de 10 cm/s mais qui s'étend sur 1500 km environ ».

Les travaux de Rebert (1974), de Domain (1976, 1977) et de Merle (1978) nous ont été d'un grand apport dans la compréhension de la circulation océanique au large du Sénégal.

Nous retenons de leurs analyses du phénomène que :

- le courant des Canaries, au Nord, a pour origine, le tourbillon subtropical nord atlantique descendant, vers le sud le long des côtes de la Mauritanie et du Sénégal ;
- ce courant se divise en deux branches opposées au sud du pays dont l'une Nord équatorial, dirigée vers l'ouest, l'autre est le courant de Guinée.

La circulation océanique sur le plateau continental varie suivant la topographie du plateau, l'orientation de la côte et les variations climatiques saisonnières. Ainsi, de décembre à avril, des eaux froides (17°C) (Merle, 1973) et salées ($>35,5\text{ ‰}$) provenant du courant des Canaries mais aussi des upwellings, conséquences des alizés, circulent sur le littoral sénégalais (Rebert, 1977). De mai à juillet, les eaux tropicales chaudes et salées (température $< 24^{\circ}\text{C}$, salinité

$>35\text{ ‰}$), sont portées vers le nord sous l'influence des vents de mousson.

Du mois d'août à novembre, le courant de Guinée draine des eaux chaudes (24°C) et dessalées ($<35,5\text{ ‰}$). « Les courants de surface ont été mesurés jusqu'à une profondeur de 9 m sur la côte nord du Sénégal ($15^{\circ}08'27''\text{N}$, $16^{\circ}58'12''\text{W}$) par la SOGREAH, en 1980-1981.

Les vitesses moyennes mensuelles de 2 à 1 cm/s s'échelonnent de décembre à janvier, période pendant laquelle, elles sont les plus fortes (Diara M 1999) ».

La côte occidentale de l'Afrique est intéressée par deux courants : le courant Sud-équatorial, le courant Nord – équatorial.

Les courants sont dus aux alizés qui, en soufflant vers le large et en y entraînant les eaux superficielles, provoquent une remontée des eaux sous-jacentes le long des côtes. « C'est le phénomène d'upwelling affectant une tranche d'eau de 500 m environ ».

« L'upwelling étant associé à des vents permanents, il produit et entretient des courants de surface froids dont les principaux sont illustrés par Mittlestaedt en 1983, en Afrique de l'ouest ».

Les vitesses de ces courants peuvent dépasser les 2 cm/s dans les conditions climatiques actuelles caractérisées par une augmentation généralisée de la célérité des vents.

Ces courants engendrent deux situations d'upwelling : celle de janvier et celle de juillet (fig. 28).

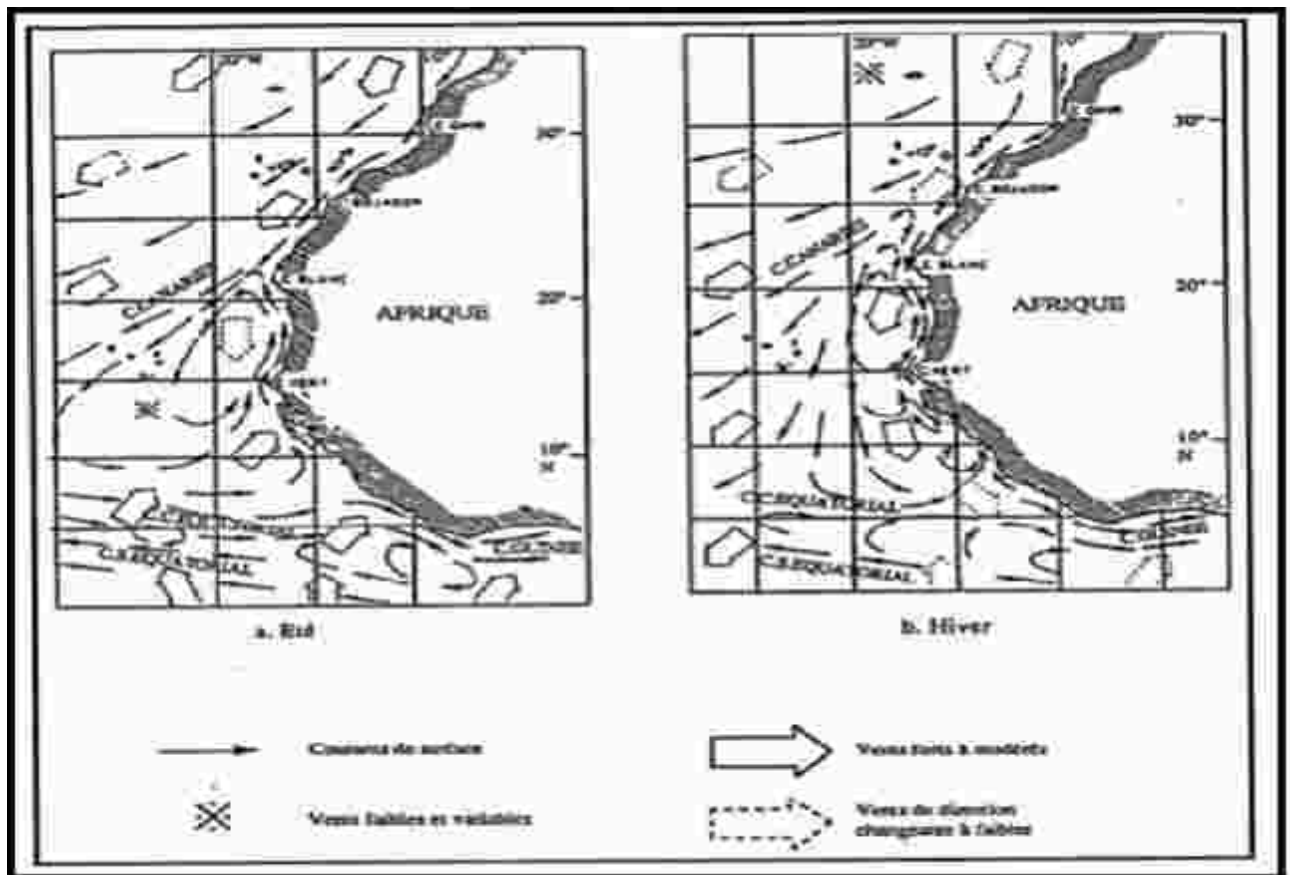


Figure 25: Circulation océanique de surface dans l'atlantique tropical ouest

Mittlestaedt en 1983

***Situation de janvier.**

Sous l'action des alizés, la couche superficielle des eaux chaudes libériennes ou guinéennes, reflue vers le Sud-ouest, occasionnant en compensation, une remontée d'eaux froides semi-profondes (50 à 100 m). Ce qui fait dire à M. Rossignol et Meyrueis (1974) que « toute la côte sénégalaise est alors baignée par l'upwelling dont la température varie entre 16° C et 17° C en surface et 15°C en profondeur, » engendrant ainsi deux types d'upwelling :

- un upwelling faible en décembre-janvier ;
- un upwelling fort en février- avril ».

***Situation de juillet**

Les eaux accumulées par le contre-courant équatorial dans le golfe de Guinée, se mettent à dériver vers le Nord en surface tout contre la côte ouest africaine. « Les eaux chaudes (27°C en surface et 20° C à 25 m de profondeur) et dessalées sont directement influencées par les calmes équatoriaux et les vents de mousson plus ou moins forts de secteurs Ouest et Sud-ouest » Rossignol / Meyrueis (1974).

Cela implique aussi deux types de courants :

- un courant stable en juillet- août ;
- un courant instable en septembre-octobre.

« Les upwellings sont engendrés par l'interaction complexe des alizés de Nord-est plus ou moins parallèles à la côte et du courant des Canaries (Sarnthein et *al*, 1982) ». Les eaux de surface sont entraînées vers le large et remplacées par les eaux froides riches en éléments nutritifs, qui proviennent de la masse d'eau centrale sud-atlantique située à des profondeurs de 100 à 200 m (Mittlestaedt, 1983 ; Rebert, 1983.) Mais ces phénomènes de remontée d'eaux froides, permanents sur les côtes mauritaniennes (20° à 25°N), n'intéressent les côtes sénégalaises que de décembre à mai (Wooster et *al*, 1976 ; Mittlestaedt, 1983).

Cependant, ces périodes (décembre- mai) sont légèrement modifiées, vu les conditions hydrodynamiques actuelles.

Les upwellings sont donc fonction des phénomènes climatiques et ils sont saisonniers au large de Dakar et d'Abidjan. C'est ce qui a poussé Rebert (1977) à distinguer 4 saisons marines : (fig. 29)

- une saison froide de type advectif à upwelling faible (novembre à janvier) qui correspond à l'installation des alizés qui sont encore faibles et irréguliers ;
- une saison froide à upwelling fort (février à mai) qui coïncide avec la période où les alizés sont intenses. Sur la côte sud, s'installe l'upwelling dont le maximum d'intensité s'écarte peu à peu du littoral en allant vers le sud. Les courants de surface partent au Sud, entre les isobathes 20 et 100 m et présentent des vitesses maximales de l'ordre de 30 cm/s.
- une saison chaude homogène (juin à août) qui correspond à la remontée vers le Nord de la zone intertropicale de convergence qui va repousser les alizés de Nord-est et donc supprimer l'upwelling sur la côte sud, tout en permettant la montée vers le Nord des eaux tropicales chaudes et salées issues du contre- courant équatorial ;
- une saison chaude instable (septembre à octobre) pendant laquelle se produit la renverse des courants avec apparition sur le plateau nord de courants dirigés vers le sud.

Dans la situation actuelle de changements globaux, ces saisons marines peuvent être légèrement modifiées de même que les trajectoires et les vitesses des courants.

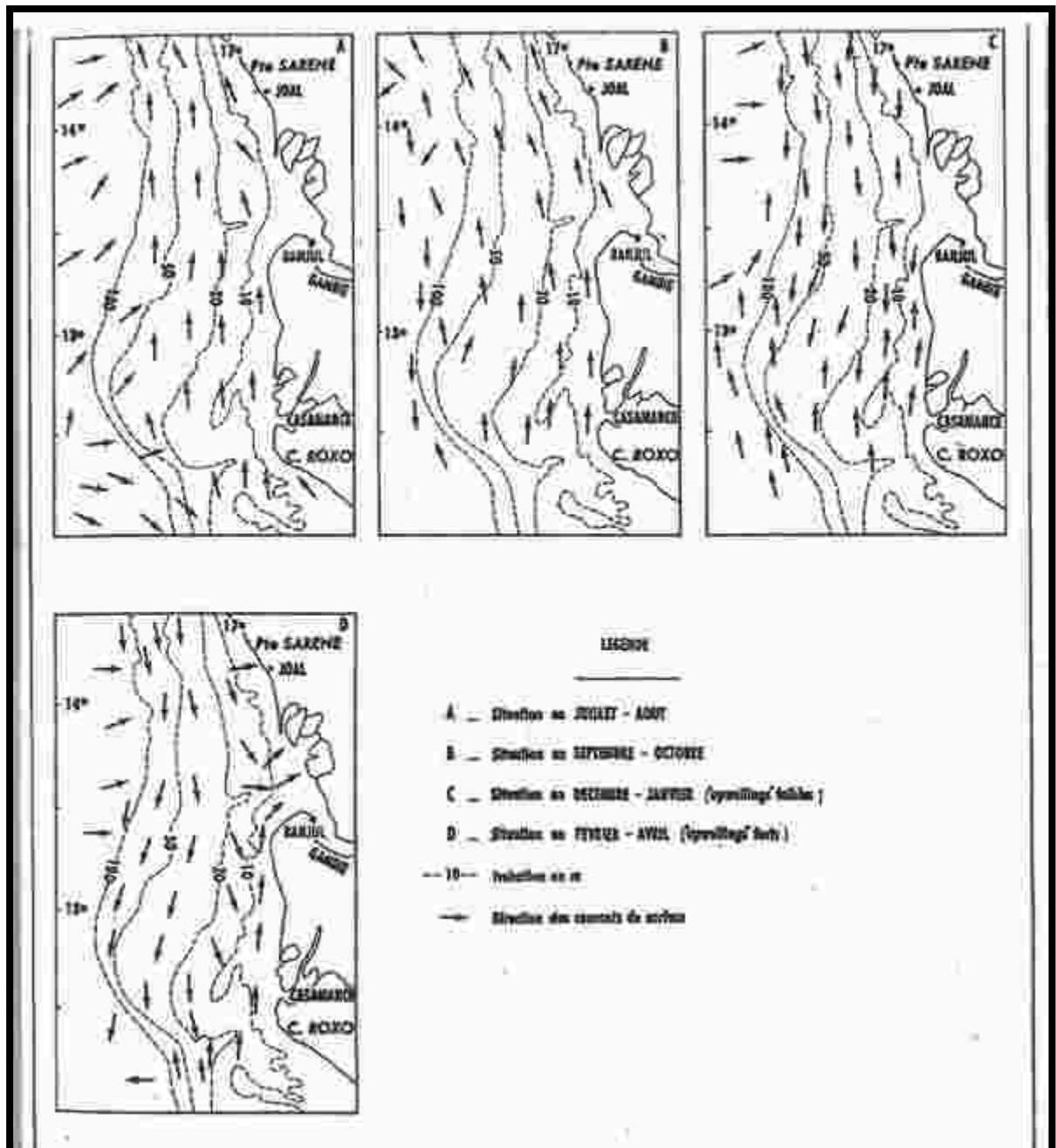


Figure 26: principales directions des courants de surface en saison chaude et froide de Joal au cap Roxo : (Rebert J P 1977) cité par Diop E S (1986)

Les courants sont aussi caractérisés par des températures et des salinités différentes. Ce qui

induit la notion de circulation thermohaline comme indiquée dans la figure 30 ci-dessous.

La figure 31 montre qu'au large du Sénégal se succèdent 4 masses d'eaux :

- « - les eaux froides dessalées souvent localisées sur de petites surfaces ;
- les eaux froides salées qui sont des remontées d'eaux froides semi-profondes en hiver boréal (upwelling de janvier) ;
- les eaux chaudes tropicales qui sont limitées au nord de la Côte atlantique africaine par le courant des Canaries et au sud par le courant de Benguela ;
- les eaux chaudes dessalées ou guinéennes qui se maintiennent toujours en surface.

Mais, ce schéma d'ensemble est légèrement modifié et les températures revues à la hausse en raison du changement climatique en cours.

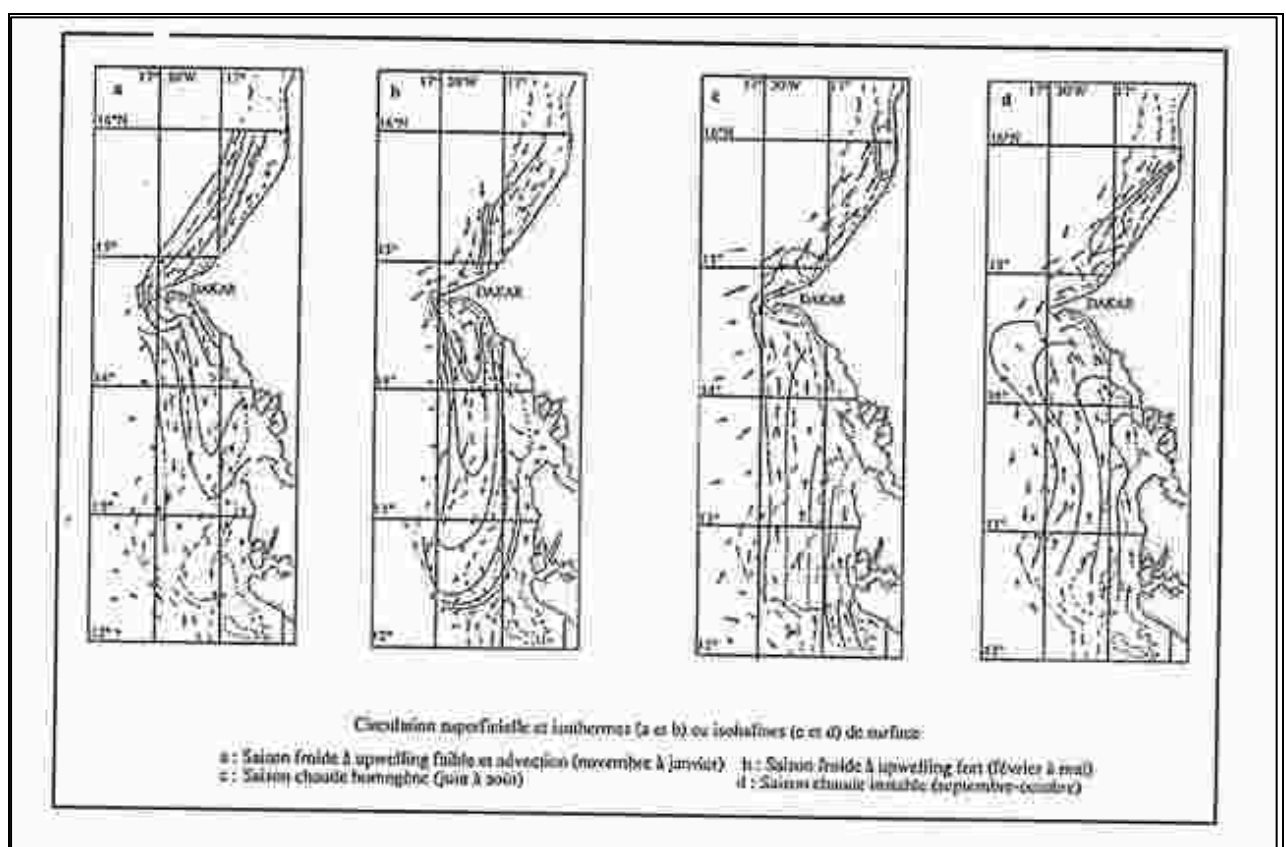


Figure 28: Les masses d'eaux au large du Sénégal

4.3.2. Les houles

Selon Guilcher A (1954), « la houle est le résultat de la propagation d'une onde sinusoïdale monochromatique, cylindrique se manifestant extérieurement par le déplacement d'une vague à la surface de la mer ».

Des études anciennes, Guilcher A (1954), Masse J.P (1968), Diop E.S (1978) et récentes, Anthony E (1982), Sall M.M (1983) Diop S (1986) et Diaw A.T. (1997), attestent que le littoral de l'Afrique de l'Ouest est soumis à deux principaux types de houles issues des hautes latitudes entre (40° et 60°) hémisphère nord et Sud : celle du NW et celle du SW.

- « La houle du NW ($N320^{\circ}$ à 20° E) enregistrée pratiquement en toute saison. « Ces houles du secteur nord sont longues avec une longueur d'onde moyenne de 300 m correspondant à une période de l'ordre de 14 s et à une vitesse de 22 m/s » (Masse, 1968) ;

- La houle du SW ($N180^{\circ}$ à 230° E) dont les effets sont perceptibles au cours de la saison des pluies ».

« La côte sénégal-mauritanienne est classée parmi les côtes à forte énergie de houle (Monteillet 1988) ». Ainsi, le courant du Nord-ouest, long et de forte énergie, vient des tempêtes d'Ouest des hautes latitudes ($55-60^{\circ}$ N) de l'Atlantique.

Il est régulier, peu cambré et haut de 1,5 m. Sa période varie de 8 à 16 secondes, sa vitesse est de 22 m/s pour une longueur d'onde variant de 265 à 350 m. Il domine sur le littoral sénégal-mauritanien de la mi-octobre à la mi-juillet, soit 98 % des 441 observations effectuées de 1969 à 1971 par Sall MM (1982). Pour ce dernier, « le littoral nord est alors sous l'action prédominante des houles du Sud-ouest. Ce courant est court et de faible énergie. Sa hauteur est de 0,8 m contre une période de 5 à 10 secondes tableau 29 ».

Tableau 20: Caractéristiques des principaux types de houles

Types de houles	Période moyenne/sec	Hauteur moyenne/m	Longueur d'onde moyenne/m	Puissance avant déferlement
NW (N320° à 20°E)	6,3s	1,67	62	18 kwm^{-1}
SW (N180° à 230°E)	5,7s	1,49	51	11 kwm^{-1}
W (N260° à 270°E)	6,8s	1,80	73	227 kwm^{-1}

A ces deux régimes, Diaw A.T (1997) ajoute « les houles exceptionnelles d'Ouest (N260° à 270° E), s'établissant généralement entre octobre et décembre et sont issues des cyclones de la mer des Caraïbes. » Selon Nardari (1993), « ces houles pourraient avoir joué un rôle dans la rupture de la pointe de Sangomar en février 1987 ».

Le tableau 30, proposé par Diaw AT (1997) souligne la fréquence directionnelle de la houle (en 1929 observations) au large des côtes du Sénégal (13°30'W – 14°N et 17°07'W – 16°N)

Il fait ressortir de ce tableau N°31 « la prédominance des houles de secteurs NW, NNW, N WNW avec 84,15 % du total des observations ».

Tableau 21: fréquences directionnelles de la houle

Direction en degrés	Fréquences en (%)	Direction en degrés	Fréquences en (%)
20	1,6	200	3,01
45	0,57	220	30,05
65	0,36	225	2,48
90	0,52	245	1,19
115	0,16	270	2,02
135	0,10	290	5,17
155	0,57	360	11,47
180	3,32	??	??

A T Diaw (1997)

4.3.2.1. Houle du NW

D'après la ''Deutcher Hadels und industries angestellten Verband (D.H.V 1976 Hambourg)'' « la houle du NW qui effectue une rotation autour de la presqu'île du Cap vert, subit une série de changements de directions.

Les trains d'ondes subissent une première diffraction – changement de direction de propagation derrière un obstacle – au niveau de la pointe des Almadies. Ce phénomène est accompagné d'une réfraction notable résultant de la diminution de la profondeur de l'eau due au relèvement du plateau continental.

La houle subit une deuxième diffraction au niveau du Cap Manuel et franchit la passe de Gorée avec une direction Nord- sud. La pointe de Bel Air provoque une dernière diffraction et les ondes parviennent dans la baie de Hann avec une direction SSE -NNW et une très belle énergie résiduelle ».

A partir de Mbour, les orthogonales sont de plus en plus obliques au trait de côte et le courant de dérive complètement parallèle. Mais sa rotation au tour de la Presqu'île du Cap vert, atténue ses effets sur la côte Sud.

« Sa longueur d'onde est de 300 m en eau profonde, sa période de 14 secondes et sa célérité de 22 m/s. Elle appartient à la catégorie des houles longues qui prennent naissance dans l'Atlantique nord. Son énergie est de 18 kW.m^{-1} (Nardari, 1993) ».

Selon la ''Deutcher hadels und industries angestellten verband (Hambourg D.H.V 1976)'' « sa pente est de 0,005 à 0,010 % en moyenne, mais peut atteindre 0,035 % à 0,040 % pendant les tempêtes ». Tout au long de la Petite Côte, cette houle a une énergie atténuée.

Les tableaux suivants proposés par Sall M.M (1982) donnent une idée de cette énergie.

Ce tableau 31, donne une classe modale de 12 – 13,9 secondes pour les périodes et de 100-149 cm pour les hauteurs. « La houle modale est celle qui possède cette hauteur et cette période et qui représente 57,40 % des situations » (Sall M.M 1982).

Tableau 22: Classes de périodes en secondes et énergie de la houle

Hauteur de houle en cm	8 à 9,9	10 à 11,9	12 à 13,9	14 à 15,9	Total	Cumul	Cumul
0 – 49	0	0	2	0	2	0,452	100
50 – 99	0	2 0,452	9 2,034	1 0,226	12 2,712	3,164	99,666
100 – 149	1 0,226	105 23,730	234 57,404	27 6,102	387 87,462	10,626	96,502
150 – 199	0	6 1,356	27 6,102	6 1,336	39 8,814	99,44	9,06
200 – 249	0	0	1 0,226	0	1 0,226	99,66	0,226
Total	1 1,226	113 25,538	293 66,218	34 7,684	441 100%		

Sall MM 1982

Le tableau 32 propose les valeurs prises par la vitesse du courant alternatif horizontal (en m/s) pour les fréquences d'obtention 1 %, 5 %, 10 %, 20 %, 50 %, 75 %, 90 %.

Tableau 23: pourcentage des houles selon la profondeur

Profondeur	1%	5%	10%	20%	50%	75%	90%
- 5m	1,575	1,411	1,242	1,201	1,077	0,974	0,873
- 10m	1,102	0,988	0,871	0,842	0,756	0,684	0,613
- 15m	0,896	0,804	0,709	0,686	0,615	0,557	0,500
- 20m	0,775	0,695	0,613	0,593	0,552	0,482	0,432
- 30m	0,631	0,566	0,500	0,483	0,434	0,393	0,352

Sall MM (1982)

De ce tableau, Sall M.M (1982) donne la conclusion suivante:

« à des profondeurs de 30 m, seul 1 % des houles se révèle efficient dans la mobilisation des sédiments de fond. Ce pourcentage passe à 10 % pour des profondeurs de 20 m, à 50 % pour des profondeurs de 15 m et à 75 % pour des profondeurs de 10 m ».

Ce qui laisse imaginer que l'efficacité géomorphologique de la houle est inversement proportionnelle à sa profondeur.

4.3.2.2. La houle du SW (N180° à 230°E)

Elle prend naissance dans l'Atlantique sud et baigne la Petite Côte en été vers août – septembre. Elle est essentiellement active pendant la saison des pluies. Sa direction oblique au littoral, engendre un courant de dérive atténuant les effets de la dérive NW- SE. Enfin « son énergie est de 11 kW.m^{-1} (Nardari, 1993) », A ces deux houles, s'ajoute une autre de caractère exceptionnel et selon Nardari, (1993) c'est « la houle d'ouest qui est issue des cyclones de la mer des Caraïbes. Son influence sur les côtes du Sénégal intervient entre octobre et décembre. Son énergie moyenne de $22,7 \text{ kW.m}^{-1}$. Sakho (2011) citant Nardari, (1993) souligne « une autre catégorie de houle, engendrée par l'impact des alizés continentaux sur la masse d'eau océanique lorsque leur vitesse est supérieure à 6 m/s, a été définie par Nardari, (1993). Appelée «les mers de vent», cette houle est de direction Nord-est avec une amplitude comprise entre 0,65 et 1,35 m pour une période de 4 s ».

Enfin, d'après Guilcher, (1954), et Davies J L, (1980), « les houles longues d'été de secteur sud sont originaires des tempêtes de l'Atlantique sud et elles sont liées à la cellule des latitudes moyennes ».

4.3.2.3. Caractères des houles sur la Petite Côte.

Le long de cette région littorale, particulièrement au droit des Rivières du Sud, « le régime de houles se partage, d'une part, entre des vagues de courte période générées par des vents locaux, et d'autre part, entre des houles longues, originaires des grands centres de génération dans l'Atlantique nord et sud » (Barusseau J P et al 1999). Ces houles jouent un rôle plus important dans le modelé, façonnant notamment des flèches et bancs sableux et des cordons littoraux ou érodant des estrans.

La hauteur moyenne de la houle dans les conditions normales est de 1,75 m. Mais selon la NEDECO (1975) « la fréquence d'occurrence des périodes de fortes houles est la suivante :

- pour une hauteur de houle supérieure à 4,25 m, une fois par an ;
- pour une hauteur de houle supérieure à 5,25 m, une fois par 10 ans ;
- pour une hauteur de houle supérieure à 6,25 m, une fois par 100 ans ».

Ce constat souligne que la houle peut atteindre 4,25 m au moins une fois par an.

Dans cette zone de la Petite Côte, les fortes houles interviennent d'automne à l'hiver et proviennent du secteur Nord. Elles dépendent étroitement des alizés.

La présence de la houle de secteur Sud, se fait sentir à partir de juillet pour disparaître fin Octobre.

4.4. Les marées

Depuis longtemps, le phénomène de marée est compris et bien décrit par les scientifiques qui soutiennent que la marée astronomique se manifeste par un phénomène périodique d'abaissement et d'élévation du niveau de la mer qui résulte de l'action des forces d'attraction des corps célestes, principalement celles qu'exercent la Lune et le Soleil sur les masses liquides de l'océan. Elle désigne « le mouvement oscillatoire de baisse et de montée du niveau de la mer en réponse aux forces gravitationnelles qui s'exercent sur la Terre. Dans le système Terre – Lune, la force de marée en un point donné de la surface est résultante des forces d'attraction de la lune en ce point et au centre de la Terre. Son intensité varie en fonction de la distance de ce point à la Lune et est proportionnelle à l'inverse du cube de la distance Terre – Lune ». (Cojan I et Renard M 1999)

D'autres auteurs expliquent que « la marée astronomique est une manifestation de la loi de la gravitation universelle appliquée au système formé par la Terre, le Soleil et la Lune.

La force génératrice de la marée est la résultante de deux forces :

- la force d'attraction gravitationnelle exercée par l'Astre, proportionnellement à sa masse et en raison inverse du carré de sa distance ;

$$F_g = \frac{GM_1M_2}{R^2}$$

- la force centrifuge est identique en tout point de la Terre, et elle est due au mouvement de la Terre sur son orbite autour du centre de gravité du système Terre-Astre ».

On parle de marée de vive-eau pour désigner celle qui correspond aux phases de nouvelle lune et de pleine lune, appelées syzygies.

La formule suivante permet de calculer la force de la marée.

$$F_{\text{Marée}} = 2am M / D^3$$

A = rayon de la Terre

m = masse de la Lune

M = masse de la Terre

D = distance Terre – Lune.

Sur les côtes d’Afrique de l’ouest, la marée est de type 1, c'est-à-dire essentiellement semi-diurne avec deux maxima et deux minima, journaliers. Au large du Sénégal, Marshall (1977) a établi la composition de la marée en proposant le tableau 33.

Tableau 24: Composition de la marée au large du Sénégal :(Marégraphe situé à 14°16’N- 17°22’W)

Composantes		Amplitude (m)
Lunaire principale	M2	0,455
Solaire principale	S2	0,174
Lunaire elliptique	N2	0,098
Luni-solaire semi- diurne	K2	0,049
Luni- solaire diurne	K1	0,050
Lunaire diurne principale	O1	0,041

Marshall (1977)

« Ces données permettent de déterminer le paramètre F, rapport entre la somme des amplitudes des deux composantes diurnes principales (K1 et O1) et la somme des amplitudes des deux principales composantes semi- diurnes (M2 et S2), qui définit la période dominante de la marée.

$$F = \frac{K1+O1}{M2+S2} = 0,4$$

Cette valeur de **F** caractérise les marées semi- diurnes **F < 0,25**

Le marnage faible et varie entre 1,2 et 1,6 m en marée de vives eaux, et entre 0,5 et 0,6 m en marée de mortes eaux. Le marnage maximal observé dans le monde est dans la baie de Fundy, au Canada entre la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick. Le marnage peut y atteindre jusqu'à 16 m.

En France, dans la baie du Mont-Saint-Michel, le marnage peut atteindre jusqu'à 12 ; 13 m selon les vitesses des vents.

Dans le cas général, « le marnage varie suivant le relief sous-marin : il est faible dans les zones de grands fonds océaniques mais il a tendance à augmenter lorsque l'onde de marée franchit le talus continental; il augmente encore au fur et à mesure que les fonds diminuent en se rapprochant des côtes (Diara M 1999) ».

« Au Sénégal, le régime de la marée est micro tidal (Einsele et *al*, 1974; Ruffman et *al*, 1977) mais, il change brutalement au sud immédiat du Sénégal, en Guinée-Bissau et devient alors rapidement macro - tidal avec un marnage moyen pouvant dépasser six mètres, sous l'influence d'une plateforme continentale exceptionnellement large et une pente très faible (Cram, 1979 ; Clarke et Battisti, 1981) ». Enfin, pour Diara M (1999) « l'onde de marée se propage, au Sénégal, depuis un point amphidromique situé à l'Ouest de l'océan atlantique, près des Antilles. Cependant, alors que sur l'ensemble de la côte-ouest africaine la propagation se fait du sud vers le nord, sur la côte sud du Sénégal, elle se fait du nord vers le sud.

L'onde de marée arrive ainsi plus tôt au nord du Saloum qu'au sud ».

Le niveau moyen à Dakar est de 1,01 m » (I Niang Diop 1995) et particulièrement du Saloum à la Casamance, l'amplitude tidale est de l'ordre d'un mètre.

Les valeurs les plus fortes sont atteintes en Guinée-Bissau et en Guinée Conakry, dépassant 6 m à Buba, Porto Gole et dans le Rio Kandiafara. Au-delà de la Sierra Leone, le marnage décroît de nouveau (Barusseau J Pet *al* 1999) ».

Le tableau 34 suivant, illustre les variations de marnage le long de quelques rivières du Sud. Mais, selon Delvienne Quentin (2004), « comme toute la façade atlantique de l'Afrique, le delta du Saloum au Sénégal est soumis au régime des marées. La marée est de type semi-diurne à inégalités diurnes. Sur les côtes sénégalaises, chaque jour lunaire de 24 heures et 50 mn connaît deux (2) pleines mers et deux (2) basses mers (Bay, 2000). Bay (2000) observe une différence inverse au niveau du marnage.

Tableau 25: variations du marnage au Nord et au Sud des Rivières du Sud.

Stations (localisation)	Amplitude des marées en m	
Dakar à titre de comparaison	1,20	0,60
Foundiougne (Saloum)	0,90	0,40
Djifère (Saloum)	1,1	0,50
Banjul (Gambie)	1,60	0,70
Diogué (embouchure Casamance)	1,40	0,90
Vare Ja (Guinée-Bissau)	2,32	1,14
Cacheu (R. Cacheu)	2,74	0,86
Farim (R. Cacheu-amont)	1,97	1,15
Caio (Guinée-Bissau)	2,30	0,81
Porto Gole (Guinée-Bissau)	6,45	4,00
Ioao Landim (Guinée-Bissau)	4,95	2,25
Mansoa (Guinée-Bissau)	3,65	2,50
Bissau (Guinée-Bissau)	5,10	2,50
Bambadinca (R. Gêba amont)	3,90	1,40
Pexice (archipels des Bijagos)	3,61	1,55
Bolama (archipels des Bijagos)	4,90	2,30
Buba (Guinée-Bissau)	6,05	2,55

(Barusseau J P, et *al* (1999)

NB : les données de marée proviennent du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) à Brest, d'après les mesures faites sur le marégraphe du Port Autonome de Dakar.

Selon ce tableau, le marnage est plus fort en Guinée-Bissau et plus faible à Djifère et à Foundiougne au Sénégal.

Le marnage à Bakadadji serait de 20 % inférieur à celui de Dakar. Cela peut s'expliquer par le fait que Diogane (malgré l'effet « bouchon atténuateur d'échange », le marnage observé est 20 % supérieur à celui de Dakar) qui se situe à proximité de la mer. La vaste envergure des bolongs qui mène à la mer limitait l'effet bouchon atténuateur d'échange attribué aux chenaux de la mangrove. Le marnage varie donc d'un point à un autre dans la mangrove ».

Enfin, selon Barusseau et *al* (1985), Diop E S (1990), Diouf. P.S (1996) « la durée du flot calculée sur la base de 15 cycles de marée est de 7 heures, alors que celle du jusant établie sur la base de 18 cycles est de 5 heures 25 minutes, soit une différence de 1 heure 35 minutes »

4.5. La dérive littorale

La houle et le retour de houle mettent en mouvement les sédiments. Cependant la houle apporte au littoral des sédiments que les courants d'arrachement enlèvent.

Le bilan est donc nul, d'où la nécessité d'un transport latéral de sédiments comme preuve d'érosion ou d'accumulation littorale: c'est la dérive.

Le transfert latéral ou dérive littorale, est l'un des plus importants facteurs de transport de sédiments sur les côtes. Il est engendré par les houles du Nord – ouest et du Sud – ouest et est sensiblement parallèle au rivage. Cela est confirmé par Pirazzoli P.A (1993) qui souligne : « si l'incidence des vagues est oblique par rapport au littoral, il s'établira un courant de décharge plus ou moins parallèle au rivage. C'est la dérive littorale qui entraîne latéralement des matériaux agités par les vagues ».

A cela, il ajoute « deux dérives littorales de sens contraires qui peuvent, en se rencontrant, déterminer des courants transversaux bien définis et rapides (Ripcurrents) localisés à certaines parties des plages, qui permettent d'évacuer vers le large l'accumulation d'eau que le déferlement entraîne à la côte ».

L'efficacité morphologique de la dérive littorale est fonction de sa célérité. Celle-ci se calcule par la forme de Putman, Munk et Taylor.

$$V = \frac{K^3 V_T^{-1} G H^2 \sin 2a m}{T}$$

H = hauteur des brisants

T = période des vagues

G = accélération de la pesanteur

K = 2,58 selon Barras, un paramètre de frottement sur le fond

m = défini pour chaque plage

a = angle d'incidence

On admet qu'une vitesse de 20 cm/s est nécessaire pour déterminer un transit. Et Barusseau J.P (1975) souligne que : « si la vitesse est comprise entre 30 et 60 cm/s, la résultante du mouvement est oblique par rapport au rivage, tandis que des vitesses supérieures à 60 cm/s induisent une résultante du mouvement subparallèle au rivage. Sur l'ensemble de la Petite Côte, cette vitesse varie entre 80 et 120 cm/s ». Ce qui détermine un transit sédimentaire parallèle à la côte, mais de plus en plus important du nord au sud.

A ces facteurs hydrodynamiques principaux, s'ajoutent d'autres comme les vagues et les courants de surface qui ont un rôle secondaire dans le transfert littoral.

4.6. Les facteurs secondaires dans le système estuarien.

Ils se lisent à travers les vagues et les autres courants de surface plus localisés et de moindre ampleur. Ils dépendent de l'intensité des vents mais aussi de la configuration géomorphologique du littoral.

4.6.1. Les vagues

D'abord au niveau de l'Afrique occidentale, et selon Barusseau J P et *al* (1999) « au début et à la fin de l'été, la dynamique littorale est également affectée par des lignes de grains ».

Leur passage engendre des vagues courtes à forte cambrure qui sont surtout efficaces en période de haute mer de vive eau.

Enfin, il faut noter que l'Afrique de l'ouest se trouve hors des zones de cyclogenèse et des champs de passage des cyclones tropicaux majeurs, et du fait aussi de la sismicité régionale très faible, on peut écarter des tsunamis, bien que des phénomènes de forts coups de vent soient parfois qualifiés, à tort, de « raz-de-marée ». Dans le tableau 35, Sir F. Beaufort 1806, décrit l'état de la mer pour montrer la nature des vagues selon la vitesse du vent.

Tableau 26: échelle météorologique (Sir F. Beaufort 1806)

Force	Description	Vitesse du vent		Etat de la mer	H 1/3
N° Beaufort		Nœuds	ms.-1		m.
0	Calme	< 1	0,0 à 0,2	Semblable à un miroir	0
2	Brise légère	4 – 6	1,6 à 3,3	Petites ondulations	0,3 à 0,5
4	Brise modérée	11 – 16	5,5 à 7,9	Petites vagues, moutons assez fréquents	1,5
6	Brise forte	22 – 27	10,8 à 13,8	Grandes vagues ; nombreux moutons ; possibilité d'embruns	3,5
8	Coup de vent	34 – 40	17,2 à 20,7	vagues assez hautes de grande longueur paquets d'écume soufflés	7,2
10	Fort coup de vent	48 – 55	24,5 à 28,4	-très hautes vagues -crêtes en surplomb -écume soufflée en grands lambeaux	12
11	Tempête	56 – 64	28,5 à 32,7	-vagues exceptionnellement grandes -mer partiellement couverte d'écume	15
12	Ouragan	>64	> 32	- air rempli d'écume et d'embruns -mer totalement blanche	>15

Les vagues ont plusieurs origines, une force extérieure comme l'action d'un séisme ou d'un raz- de marée, l'attraction du système Lune - Soleil. Mais pour la plupart, elles proviennent de la mer de vent. « Lorsque le vent souffle, les premières vagues significatives se développent à partir de vitesses égales à 1m/s » selon Cojan I et Renard M (1999).

L'échelle de Beaufort associe la relation entre l'état de la surface marine et la vitesse du vent. Une vague se caractérise par sa cambrure (0,071), sa période (8 s) et sa hauteur (0,64 m à 1,75 m) en moyenne sur la Petite Côte. En plus, la hauteur est fonction de la célérité du vent. Sir François Beaufort (1774-1857) propose l'échelle météorologique (tableau 36) :

La vitesse d'une vague se calcule par l'équation proposée par Cojan I et Renard M (1999)

$$V = \text{racine carrée de } \frac{GL}{2\pi IES} \cdot \frac{Th}{2\pi IES/L}$$

L = longueur de la vague

G = accélération de la pesanteur

d = épaisseur de la tranche d'eau

Th = à calculer

Le tableau 36 souligne les liaisons entre les vitesses du vent et les hauteurs des vagues.

Tableau 27: vitesses et hauteur des vagues

Vitesses en (m/s)	Hauteur en (m)
3 à 6	0,5 à 1
6,5 à 8,5	1 à 1,5
9 à 12	1,5 à 2
12,5 à 14	2 à 2,5
16,5 et plus	3,5 et plus

(NEDECO 1985)

« La hauteur maximale atteinte dans les conditions extrêmes est de :

- 2,90 m une fois par an ;
- 3,60 m une fois par 10 ans ;
- 4,40 m une fois par 100 ans» (NEDECO 1975).

Les vagues les plus importantes proviennent du secteur nord. Elles sont obliques au littoral sur toute la flèche de Sangomar dont la rupture du Lagoba en 1987 fait que les orthogonales soient perpendiculaires aux rivages de Dionewar et de Niodior.

Les vagues induisent d'autres courants localisés et de moindre ampleur comme les ripcurrents, les undertow, les downwelling.

4.6.2. Les autres types de courants.

Selon Diara M (1999) « différents courants dus à la houle ont été décrits par Davis (1985), suivant leur position par rapport à la ligne de rivage »

- au large de la zone des brisants, se rencontrent les courants de houle et les courants d'arrachement appelés ripcurrents ;
- dans la zone des brisants et de déferlement, agissent le courant de dérive littorale (longitudinale), le courant de retour et, également, les courants d'arrachement ;
- dans la zone de jet de rive, enfin, il s'agit du jet de rive proprement dit et du courant de retrait ou jet de retour ».

*Les ripcurrents ou courants de retour ou d'arrachement ont leur aptitude au transport qui s'accompagne d'un pouvoir érosif sur le substratum meuble de la zone de déferlement comme au large des brisants.

D'après Demoulin D (1967) « le courant de retour ou ripcurrents, se forme après la conjonction de deux courants latéraux au sommet d'une concavité. Le matériel arraché à la microfalaie est transporté vers la mer par un courant de profondeur qui érode le fond du croissant ».

Sur l'estran de la Petite Côte, ne résistent au courant de retour, que les buttes d'algues vertes et les minéraux lourds.

Par ailleurs, pendant les périodes de vents violents ou soutenus, les courants de surface s'effectuent vers le littoral. Et selon Héquette A (2001), « tant que le niveau de l'eau peut s'élever sur la côte pendant la tempête, le courant moyen peut être dirigé vers le rivage sur toute la hauteur de la colonne d'eau. La circulation hydrologique qui se met en place afin que les échanges de masses soient en équilibre dans la zone littorale, se manifeste sous la forme de courants de downwelling qui sont des courants de retour qui agissent près du fond ». « Ces courants qui s'écoulent perpendiculairement ou de façon oblique vers le large, sont en fait dus à des gradients de pression horizontaux engendrés par la pente de la surface de l'eau ; Héquette A (2001) ».

A ces courants, s'ajoutent les courants d'undertow qui « se manifestent essentiellement sous les vagues déferlantes ».

Héquette A (2001) souligne que « lorsqu'ils sont suffisamment forts, ces courants de tempête peuvent être responsables d'une érosion des fonds meubles et du creusement de chenaux à plusieurs mètres de profondeur ».

Remarquons que tous ces courants ont une grande efficacité morphologique, cela est confirmé par Héquette A (2001) qui estime que « les transports sédimentaires sont le résultat

de l'action combinée de courants oscillatoires et de courants de downwelling, mais de la dérive littorale dont l'intensité augmente également pendant les tempêtes ». Mais l'efficacité de l'action érosive de ces courants est à la nature de la côte (rocheuse ou sableuse) et de la pente (raide ou douce). Enfin, « ces courants auraient également participé à la mise en place de dépôts sableux sur les plates-formes continentales pendant la transgression Holocène » Niedoroba et *al* (1985), Swift et *al* (1986), Walker et Plint (1992).

Retenons de cette analyse l'idée de Turmine V (2001) « l'accentuation des phénomènes éoliens de directions NE-SW et NW-SE (Roy, 1989) se traduit par une agitation marine importante et donc, par l'augmentation des formes induites par les houles du NW caractérisant la saison sèche. Ainsi, la péjoration climatique, par l'intermédiaire de l'allongement de la saison sèche accroît la dérive littorale N-S et réduit la composante S-N. On peut donc penser que ce phénomène accentue la sédimentation côtière responsable de la formation de flèches sableuses. Néanmoins, l'absence d'un suivi de la houle ne permet pas d'affirmer cette évolution ».

Finalement, selon Niang-Diop, (1996) « les alizés qui ont une direction NW-SE entraînent des houles d'orientation préférentielle NW-SE qui contribuent à l'édification des flèches sableuses. Toutefois, les vents continentaux constituent des houles d'orientations NE-SW appelées « mer de vent » qui sont à l'origine de l'upwelling au cours de la saison sèche ».

Conclusion

De l'analyse des conditions océanographiques se dégagent les constats suivants :

- les bouches du Saloum constituent une côte à estuaire sur sédimentation récente, au droit de laquelle s'allongent deux flèches mobiles en direction du Sud.
- les faciès sableux sont prépondérants sur une toposéquence du littoral au large ;
- les courants et masses d'eau de l'Atlantique ont leur influence sur le littoral sénégalais et partant à l'intérieur du delta du Saloum ;
- le littoral est soumis aux upwellings saisonniers et à plusieurs types de houles aux caractéristiques et aux effets différents sur la Petite Côte ;
- la marée est essentiellement semi-diurne avec deux maxima et deux minima journaliers.
- la dérive littorale détermine un transit sédimentaire parallèle à la côte, mais de plus en plus important du nord au sud ;
- tous les courants induits : vagues, ripcurrents, upwelling, downwelling et undertow ont joué un rôle morphogénique particulier.

Les facteurs océanographiques même perturbés par les changements en cours, participent largement à la dynamique du littoral de la Petite Côte, par la recrudescence de la vitesse des houles, la puissance des courants de retour, la diminution des profondeurs dans certains endroits, la multiplication et l'extension des bancs de sable.

Enfin, la puissance des vagues au droit de Dionewar est à l'origine de la dégradation de la mangrove, du recul du cordon et de l'allongement de la deuxième flèche. Les facteurs de la morphogénèse responsables de cette situation sont passés en revue au niveau de la partie traitant des impacts des modifications des conditions climatiques et océanographiques dans les milieux estuariens et leurs bordures.

Chapitre 5 : Impacts sur la dynamique côtière et estuarienne

5. I. Les modifications de la dynamique aérologique

5.2. Les modifications de la dynamique hydrologique.

5.2.1. La rupture de la flèche de Sangomar

5.2.1.1. La cinématique de la flèche de Sangomar

5.2.1.2. Les facteurs hydro-climatologiques

5.2.1.3. Les facteurs hydrodynamiques

5.2.2. La bathymétrie et la courantométrie

5.2.2.1. La bathymétrie

5.2.2.2 La courantométrie

5.2.3. Les facteurs géomorphologiques

5.2.3. 1. La formation de flèches

5.2.3.2. La formation de bancs sableux

Introduction

Ce chapitre est la synthèse des réflexions de plusieurs chercheurs dans le domaine de la dynamique côtière et estuarienne et de la dynamique aérologique. Ainsi, avons-nous fait recours aux travaux de Minot A (1934), Tromeur JY (1938), Le Fur A (1953), Pelnard-Considère R (1959), Ottman F (1965), Marius C (1977), Vieillefon J (1977), Elouard P (1977), Kalck JY (1978), Diop E S (1980), Verger F et al (1982), Lebigre J M (1983), Sall MM (1983), Diop E S (1986), Thomas Y F (1987), Diop Guèye N F (1991), Diaw A T, Diop Gueye N F, Ndiaye P (1993), Niang Diop I (1995) Niang Diop I (1995) enfin Diaw A T (1997). Leurs travaux ont permis d'apprécier les connaissances sur la dynamique marine et estuarienne, en soulignant la rupture de la flèche de Sangomar et ses conséquences, en traitant de la bathymétrie et de la courantométrie. D'autres impacts sont perceptibles à travers la dynamique aérologique et hydrologique.

5. I. Modifications de la dynamique aérologique.

Au point de vue aérologique, le changement climatique a des effets sur la saison des vents dans la Petite Côte du Sénégal. Les pêcheurs des villages côtiers de Palmarin nous ont expliqué lors de nos enquêtes de 2008 que les vents du Nord-ouest appelés dans la langue locale, « Grègne » ou « Ndawgopp » qui soufflaient à partir de janvier, sont actuellement tardifs et soufflent au mois de février. Les vents du Nord-est ou « Quègnethiok » qui se manifestaient d'octobre à janvier, sont remplacés au mois d'octobre par ceux du Nord-nord-ouest et du Sud-ouest ou « Gnilmane Diasior » ou « Diasior » ou « Ndawtank » qui soufflaient de juin à septembre. Mais actuellement, ils sont dominants dans le terroir de juin à août. Cette modification de la situation aérologique a entraîné une perturbation au niveau des saisons de pêche par la migration des poissons, mais surtout, des changements au niveau de la dynamique hydrologique.

5.2. Modifications de la dynamique hydrologique.

De l'avis d'autres chercheurs, durant son stade de fleuve, le Saloum avait un débit de « 410 m³/seconde mais l'écoulement était irrégulier du fait de la sévérité des conditions climatiques depuis plusieurs décennies ; le niveau des écoulements a subi une baisse sensible de l'ordre 58 %, passant de 24 milliards de m³ par an pour la période 1900-1968 à 14 milliards de m³ entre 1968 et 1987 ».

Le Saloum au nord, d'une largeur variant entre 1 et 2 km, a décrit un vaste espace circulaire à l'Est de Foundiougne à sa confluence avec le Sine, et sa profondeur atteint rarement 15 m.

Le Diomboss au centre, est beaucoup plus large environ 5 km; mais il est divisé en deux branches à Diofandor enserrant deux vastes îles de 2 à 3 km de large et longues environ de 7 km (Poutaké et Gouk). Sa profondeur varie de 10 m à 15 m.

Le Bandiala est plus vaste à l'Ouest de Missirah et sa profondeur dépasse rarement 10 m à cause de l'ensablement.

Les impacts sur la dynamique hydrologique peuvent être appréciés par la rupture du Lagoba, la formation d'autres flèches ou de bancs sableux, l'ouverture de nouvelles passes, les actions mécaniques des vagues sur la mangrove enfin, les modifications de la bathymétrie.

Les littoraux à flèches sableuses sont très vulnérables à l'érosion. Le plus souvent ils sont caractérisés par une succession secteurs d'engrèvement et de de secteurs de démaigrissement « qui peuvent se déplacer au cours du temps et qui correspondent respectivement aux zones d'approvisionnement et de dépôts des courants de dérive littorale » (Niang I Diop 1995).

C'est le cas de la Petite Côte au Sénégal où se rencontrent deux grandes houles d'origines différentes. Le système d'érosion littorale peut donc être très actif, ayant plusieurs causes. Selon Niang I Diop (1995) qui cite Fenster et al (1993), « à l'échelle du temps considéré, soit plusieurs décennies, les principales causes d'érosion côtière sont les suivantes :

- une élévation du niveau marin ;
- des contraintes géomorphologiques telles que celles exercées par des caps qui déterminent une forme d'équilibre que la plage tend à atteindre ;
- des modifications des conditions de houle : changement de l'énergie, de la direction des houles, plus grande fréquence des houles de tempête ;
- des diminutions des apports sédimentaires à la côte dues à des phénomènes naturels ou bien aux impacts d'activités humaines ».

En effet, nous remarquons que toutes ces conditions sont réunies sur le littoral sud par :

- la présence de caps comme celui de Naze ;
- l'existence de deux houles de directions inverses ;
- les fortes houles peuvent atteindre 3 m de hauteur ;
- la rareté ou l'absence de " wagons sédimentaires " dues aux installations touristiques et à l'occupation anarchique de la côte sud ;
- la disposition des orthogonales de houle par rapport au trait de côte ;
- l'existence d'un stock sédimentaire meuble et disponible en certains endroits.

Ce déficit en apport de sédiments accentue l'érosion littorale, ainsi selon l' ONG Creative Commons Attribution Share Alike 2.5, « depuis 1937, le littoral recule à un taux moyen de 1,30 m par an à la hauteur de Rufisque, près de Dakar.

Ce phénomène s'explique seulement en partie, par l'élévation du niveau marin due au réchauffement climatique. La faible épaisseur des sédiments de plage y contribue également ». L'accentuation des tempêtes engendre souvent des dégâts irréversibles comme la rupture de flèche sableuse.

5.2.1. Rupture de la flèche de Sangomar

La formation de la flèche de Sangomar est liée à celle des îles du Saloum. En effet, selon Diop E S (1986), à partir de « 3000 ans BP, le niveau marin passait, à +2 m. Des cordons sableux s'édifièrent progressivement dans les golfes nouakchottiens. Un développement en lagunes s'effectuera parallèlement avec des dépôts de vase épaisse +/- argileuse colmatant petit à petit les milieux estuariens. Ces conditions sont favorables au développement de la mangrove. Les anciennes vasières aujourd'hui, tannes dénudés, datent pour la plupart de cette époque.

C'est aussi la période de la mise en place de la flèche de Sangomar et de l'île aux oiseaux par une mer dakarienne agitée ». Pour Diara M (1999) l'origine de la flèche de Sangomar « est déterminée par une dérive littorale dont la résultante, effective dès 4 800 ans B. P (Rognon, 1976), porte vers le sud. En effet, à Faboura, très près de la racine, la vasière qui s'abrite en arrière du cordon initial est datée de 4 660 ans BP ».

Enracinée sur le Continental Terminal, elle n'a cependant pas été aussitôt une flèche littorale. Sans doute favorisé par la disponibilité d'un abondant matériel sableux d'origine dunaire (Barusseau J P, 1985), le transit sédimentaire a-t-il d'abord circulé sur la rive Nord du golfe dans une direction proche du NW-SE. Le tracé actuel implique que la dérive littorale interfère avec une composante orthogonale (NE-SW), l'axe du Saloum, de façon à aboutir, à l'orientation subméridienne que l'on observe maintenant.

La flèche de Sangomar, dès son origine, est donc un poulcier. Cette réorientation de la dérive sédimentaire littorale ne doit avoir eu lieu que vers 2 000 ans BP.

En effet, l'action de la houle, à l'intérieur du delta est enregistrée jusque vers cette période ». Une fois formée, cette flèche a subi dans son histoire plusieurs phases de rupture et de colmatage.

Selon Martin V et Becker C (1979), l'histoire locale retient que « la fondatrice de Niodior vers 1136, avait fait une traversée miraculeuse au cours de laquelle, « elle plongea sa main dans l'eau et en tira une poignée de sable : c'est à partir de ce moment que la pointe de Sangomar a commencé à se déplacer continuellement vers le Sud ».

Ce qui explique en partie, le début de la cinématique de la flèche. Pour comparaison, « la langue de Barbarie a été l'objet de nombreuses coupures (24 de 1850 à 1980 ; Sall 1982) qui semblent suivre un cycle de 11 ans ou de 14 ans (Gac el *al* 1982) alors que pour la même période la Pointe de Sangomar n'a connu que deux ruptures importantes ».

D'autres cas de rupture ont été signalés par Sall MM (1982), en 1860, 1890, 1909, 1914, 1960, 1970, mais le plus important est celui du 27 février 1987.

5.2.1.1. Cinématique de la flèche de Sangomar

Sall MM (1982) a établi à la suite de Minot A (1934), Thromeur JY (1938), Le Fur A (1954), Pelnard-Considère R (1959), un croquis polystatique de la flèche de 1895 à 1960 ». Par des témoignages de levées topographiques, Sall MM (1982) a tracé les différentes limites de la pointe :

- en 1895, l'extrémité de la flèche se plaçait environ à 2 km au nord du parallèle 13°48 ;

En 1906, elle a avancé vers le sud d'une centaine de mètres par rapport au relevé précédent.

Entre 1906 et 1907, elle est restée relativement stable.

De 1907 à 1912, se produit un accroissement rapide de la flèche, de près de 1400 m, soit une vitesse moyenne de 280 m/an

En 1914, consécutivement à une forte érosion du segment distal, la situation n'est guère différente de celle de 1912. L'extrémité de la flèche devient une île qui s'érode et finit par donner le haut-fond de la douane qui divise en deux, le chenal d'embouchure du Saloum ».

La flèche soumise à une double dynamique marine et estuarienne, a subi de multiples transformations depuis la traversée de la fondatrice de Dionewar ; Bandé Niambo en 1136.

Et d'après les 'Notes de Biogéographie' N°4 (1989) « la progression vers le sud se fait par la mise en place de crochets successifs qui utilisent les matériaux transportés par une forte dérive littorale Nord-sud engendrée par les houles dominantes du secteur Nord-ouest ».

Cette dérive mobilise les éléments arrachés au cordon surtout au niveau de Djifère et de Ngounoumane.

Ainsi Sall MM et *al* (1980) ont noté les évolutions suivantes :

- « - de 1927 à 1987, la flèche a progressé de 4 km ;
- de 1925 à 1930, l'accroissement vers le Sud est de 500 m, soit en moyenne 100 m/an ;
- de 1930 à 1950, la progression connaît un certain ralentissement 50 m/an ;
- de 1950 à 1962, la progression serait d'une vingtaine de mètres par an ;
- elle avance de 700 m par an entre 1970 et 1973 ;
- de mars 1977 à mai 1979, l'avancée a été de 17 m/an ; elle passe à 16 m/an de mai 1979 à août 1980 ».

Cette avancée s'accroît et aboutit à la rupture de la flèche le 27 février 1987 sur 800 m au Sud de Djifère. En 1988, cette ouverture s'aggrave et passe à 2 km et en même temps, la mer envahit les îles de Niodior et de Dionewar.

- « - du 25 août 1988 au 14 novembre 1991, le recul du trait de côte est de 178 m en 2 ans.
 - de juillet 1991 à juin 1992, la pointe s'est raccourcie de 50 m et le parc qui était à 250 m de la ligne de rivage, est complètement englouti, soit une avancée de plus de 200 m ».
- Ces différentes fluctuations ont fait l'objet de la figure 32.

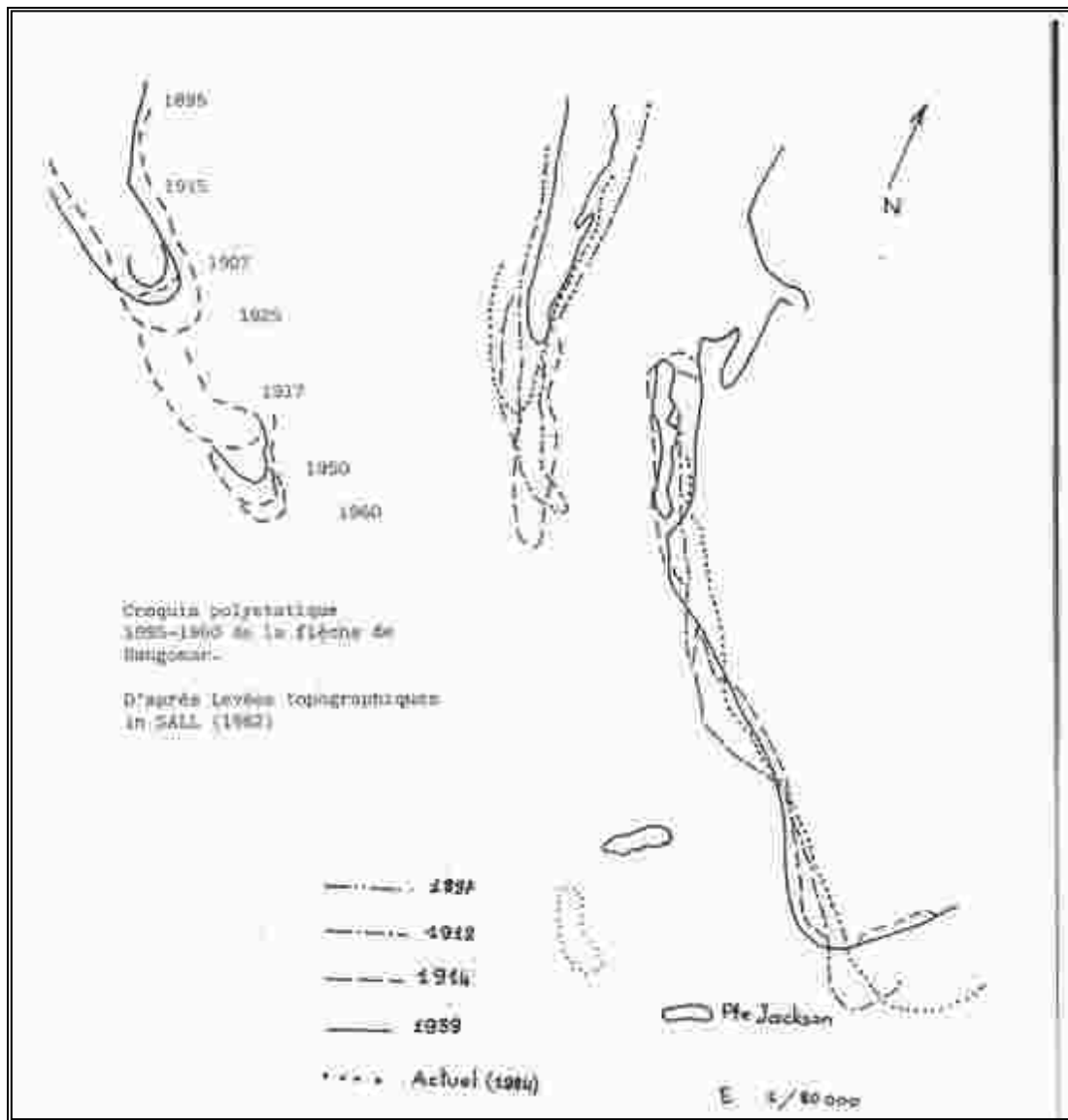


Figure 29: évolution de la flèche de Sangomar et de la côte adjacente

Tromeur (1955), Sall (1982), Diop E S (1984)

A la suite de ces travaux, Diaw A T (1997), après avoir étudié l'évolution du système littoral dans son ensemble, a, par le moyen de la télédétection, décrit l'état de la flèche de Sangomar de 1986 à 1991, en montrant l'évolution diachronique de la rupture à partir de 1988 : c'est l'objet de ces deux figures 33 et 34.

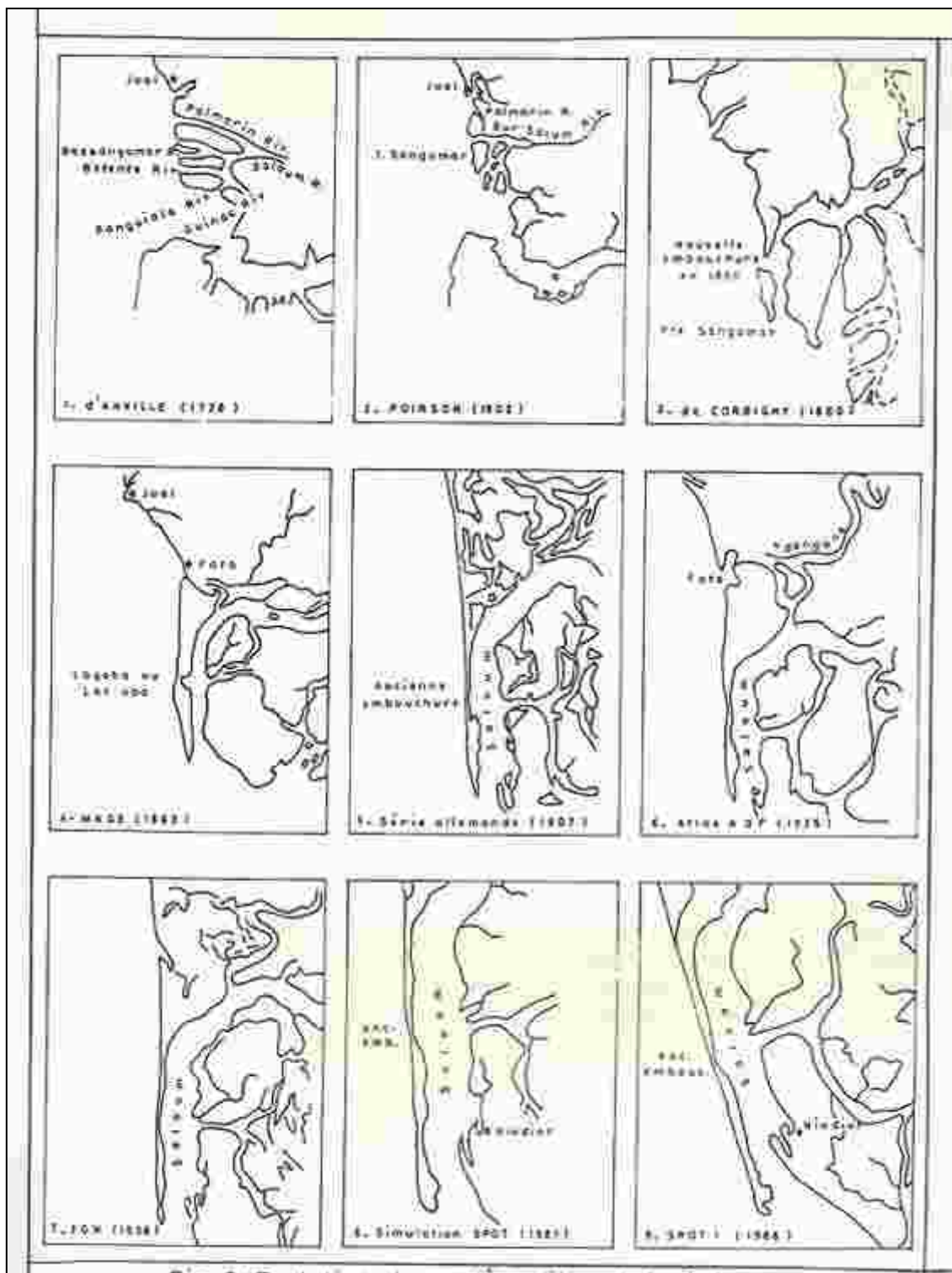


Figure 30: Evolution du système littoral du Saloum

D'après diverses sources (1728-1986) in Diaw AT (1997)

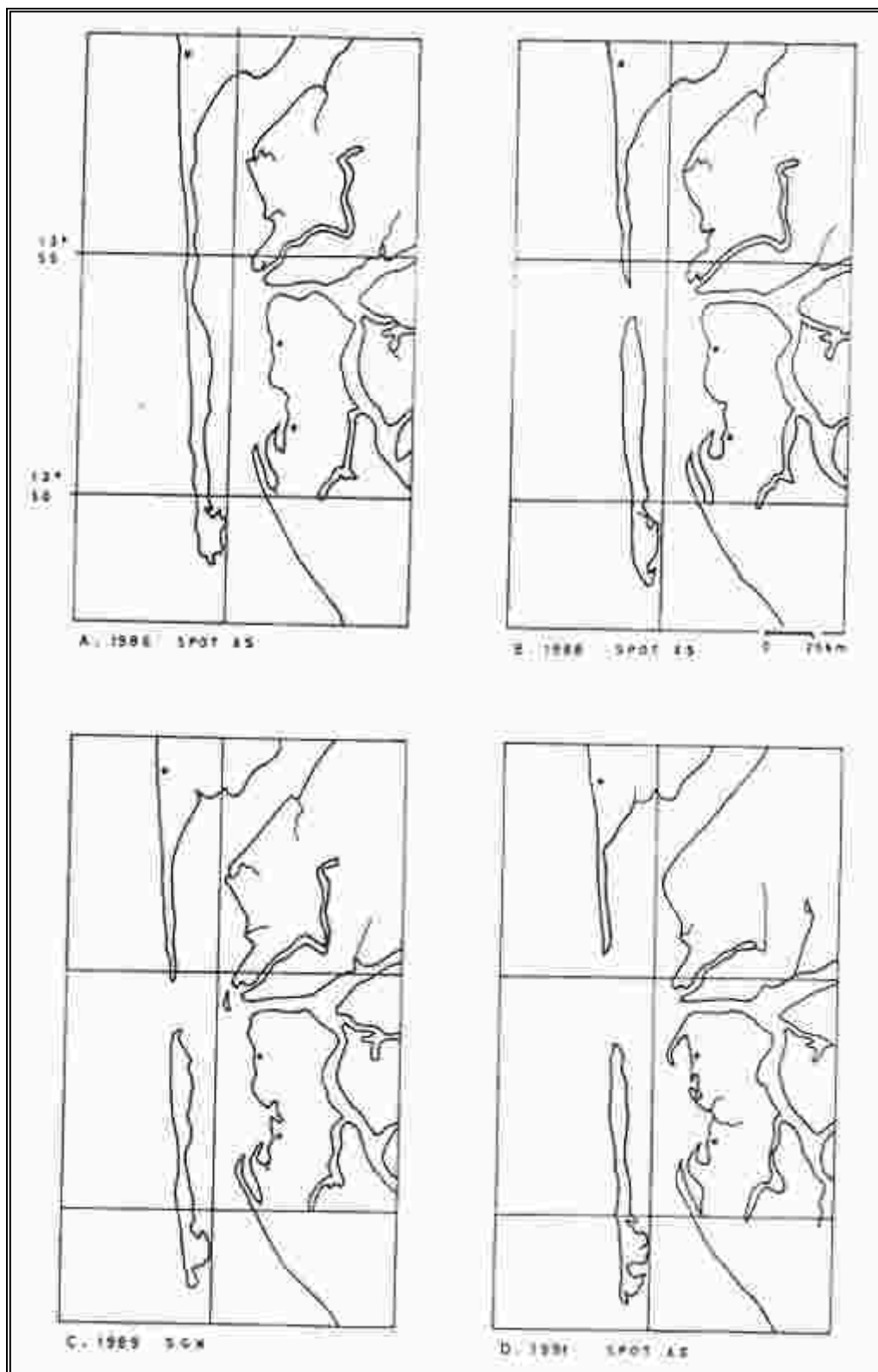


Figure 31: état général de la flèche de Sangomar de 1986 à 1991

A T Diaw (1997)

Une fois la rupture réalisée, les sédiments sableux sont soumis à une certaine dynamique par leur dérive dans plusieurs directions ; vers le Sud de la pointe pour l'allonger par accrétion, vers l'Est, pour former une deuxième flèche littorale au droit de Dionewar, ou pour engraisser les estrans des îles qui sont en situation de fronts de mer. Les tableaux 37, 38, 39, 40 et les figures 35 et 36 qui suivent, quantifient ces stocks et retracent les différentes étapes des accrétions par crochets vers le Sud.

Tableau 28: Estimation de la cinématique de la flèche de Sangomar entre 1907 et 1987

Périodes	Progression en m/an	Bilan net en m ³ /an
1907/1927	- 88	- 55300
1927/1946	+ 31	+ 16300
1946/1954	+ 120	+ 27300
1954/1958	+ 300	+ 82500
1958/1969	+ 111	+ 91100
1969/1972	+ 22	-29500
1972/1987	+ 35	+ 32800
1981/1984	0	+ 74600
1984/1986	+ 174	-18500
1986/1987	+175	+ 123100

In Notes de Biogéographie n°4 (1989)

Les flèches littorales n'ont pas les mêmes rythmes de progression ou d'érosion.

Selon Turmine Vincent juin (2001) citant Sall (1982), Thomas et Diaw (1997), Diaw (1998), et Koroleff (1998), « à la Pointe de Sangomar, il a été mesuré une vitesse d'ouverture de brèche de 0,90 m/j entre 1987 et 1997 (Thomas et Diaw, 1997, Diaw, 1998, Koroleff. S, 1998), alors que le secteur voisin entre Joal-Fadiouth et Sangomar ne subissait qu'un taux de recul de

1,20 m/an entre 1970 et 1979 (Sall, 1982) ».

Le tableau 38 proposé par A T Diaw (1997), retrace et estime la cinématique de la flèche de Sangomar de 1907 à 1991.

Tableau 29: Estimation de la cinématique de la flèche de Sangomar de 1907 à 1991

Périodes	Progression en m/an	Bilan net en m ³ /an
1907/1927	-88	-55300
1927/1946	+31	+16300
1946/1954	+120	+27300
1954/1958	+100	+82500
1958/1969	-111	+91100
1969/1972	+22	-29500
1972/1981	+35	+32800
1981/184	00	+74600
1984/1986	+174	-18500
1986/1987	+175	+123100
1987/1988	+198	+61200
1988/1989	+224	+62100
1989/1991	+264	+388800
1991/1991	+66	-197100

A T Diaw (1997)

Pour comparaison de la cinématique de la flèche de Sangomar, à la situation sur la langue de Barbarie étudiée par Sy B A (2004) qui a cité Barusseau J P (1980), nous remarquons que les dérives des sédiments vont dans toutes les directions, les volumes charriés sont plus importants sur la langue de Barbarie où l'érosion est plus vive. Mais, contrairement au Nord, à la Grande Côte, la Petite Côte a vu la formation d'une deuxième flèche et l'allongement de la première vers le Sud.

Au niveau du littoral – côté mer – la longueur de la flèche de Sangomar a aussi connu une certaine dynamique dont les caractéristiques ont fait l'objet de ce tableau 39.

Tableau 30: Estimation du déplacement des débits massiques sur le littoral Nord

Dimensions mat (mm)	Composante vers le nord/m ³	Composante vers le sud/m ³	Résultats vers le sud/m ³
0,1	52 000	495 000	450 000
0,2	36 000	348 000	300 000
0,3	30 000	28 500	250 000
0,4	26 000	247 000	225 000
0,5	23 000	223 000	200 000

Barusseau J P (1980)

Tableau 31: Evolution de la longueur de la flèche de Palmarin Diakhanor à l'extrémité distale.

Périodes	Longueur en km (rupture non prise en compte)	Longueur en km (rupture prise en compte)
1927	14,35	Pas de donnée
1946	14,94	„
1954	15,90	„
1958	16,30	„
1969	17,52	„
1972	17,58	„
1981	17,89	„
1984	17,89	„
1986	18,24	„
1987	18,41	18,11
1988	18,60	17,37
1989	18,82	17,27
1991(Avril)	19,11	16,38
1991(Octobre)	19,18	16,25

Diaw A T (1997)

Parallèlement aux mouvements de la flèche, la ligne de rivage à Djifère devient instable par le jeu de la dérive littorale. Le sable mis en suspension par l'agitation marine sur les hauts fonds de l'avant-plage et sur l'estran, est évacué par des courants de dérive littorale ou de dérive de plage. Les directions de ces courants sont parallèles à la côte et au rivage le long du littoral Sud.

La figure N° 35 proposée par Saos Luc J (1993), souligne les différents traits de côte, côté mer et estuaire. Une estimation du démaigrissement donne :

« - un raccourcissement de 166 m de Juillet 1991 à novembre 1991 et qui passe à 233 m de novembre 1991 à décembre 1992.

- un recul du trait de côte de plus de 200 m au droit du campement touristique de juillet 1991 à décembre 1992.

- une avancée au même niveau côté fleuve de plus de 100 m dans la même période.

Au total, le raccourcissement est de 400 m entre juillet 1991 et décembre 1992 ».

Dans la situation actuelle et cela en 1994, ce campement touristique a été submergé par les eaux, de même que l'usine, la route goudronnée et le quai de pêche.

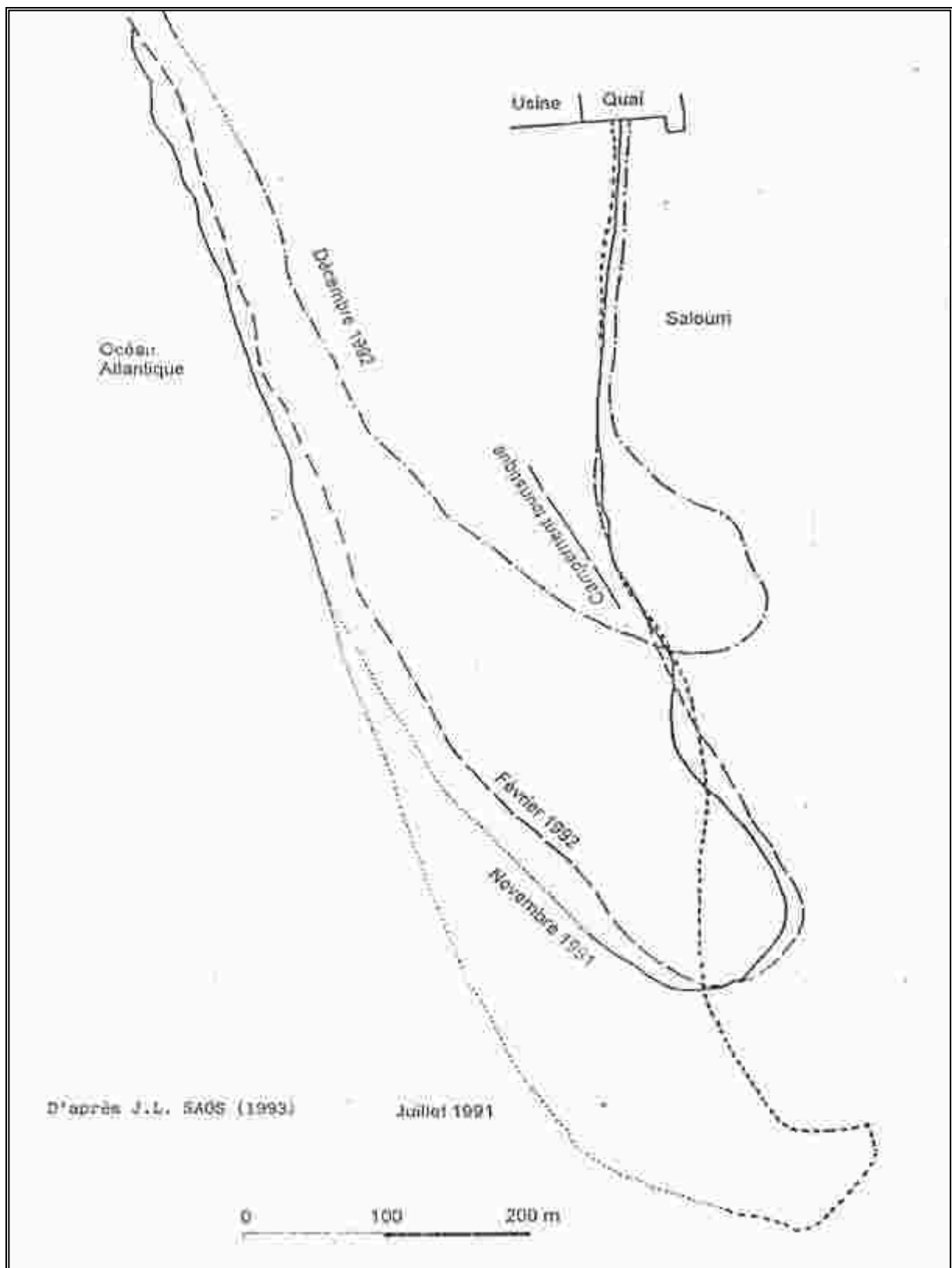


Figure 32: Evolution de la ligne de rivage à Djifère : Juillet 1991-Décembre

Jean Luc- Saos (1993)

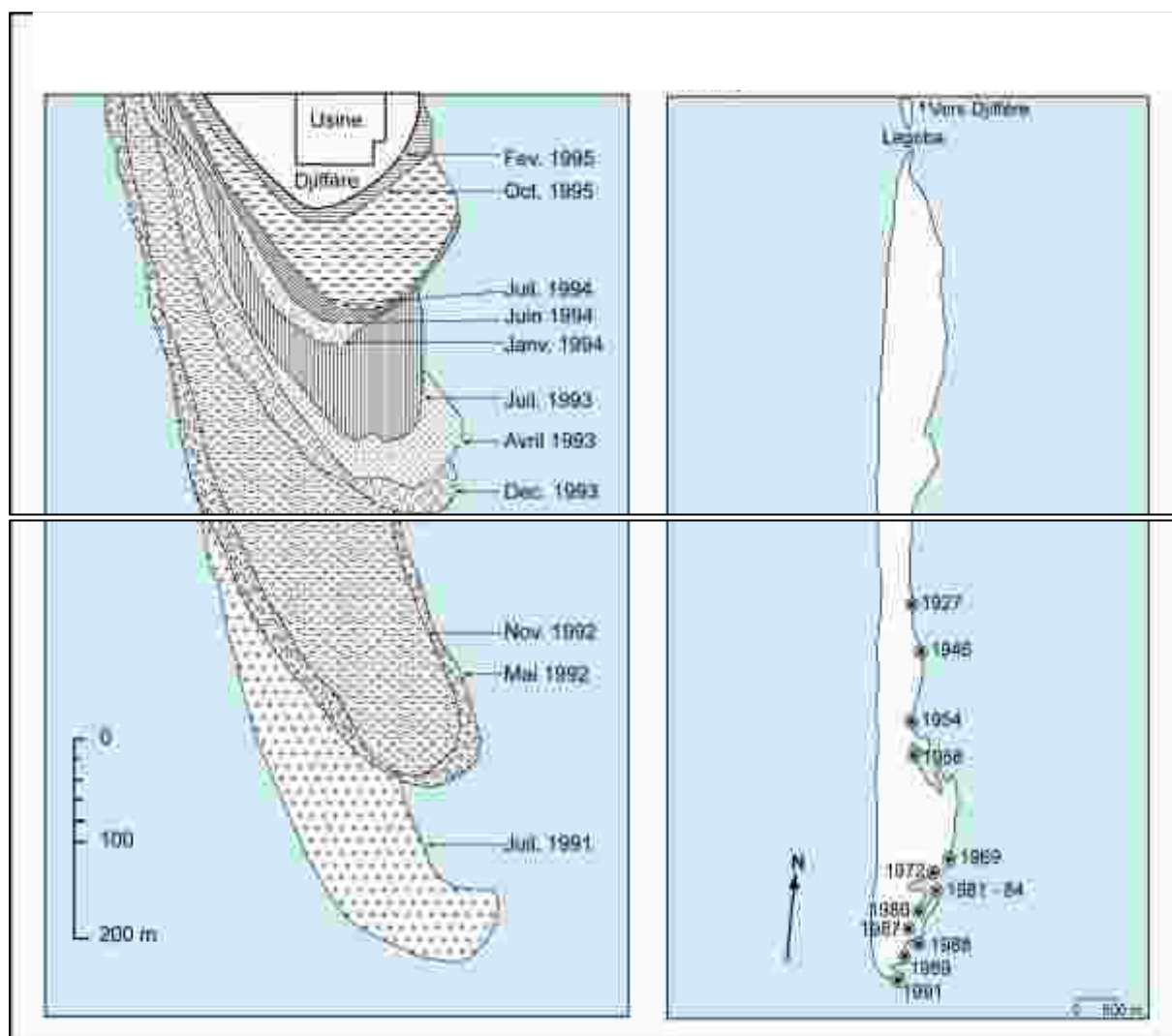


Figure 33: Migration et évolution de la pointe de Sangomar entre 1927 et 1995

L'érosion est très active sur les estrans au niveau de Djifère. Cela est quantifié par Diaw A T (1997) : « le secteur proximal connaît une forte érosion. Entre 1987 et avril 1991, le recul du trait de côte à Djifère est de 2524 m soit en moyenne 564 m par an. Entre avril 1991 et octobre 1991, il est de 216 m, soit un recul moyen de 36 m par mois ».

Ainsi nous propose t- il le tableau 41 ci-dessous :

Tableau 32: Evolution des phénomènes d'érosion et d'accrétion dans les îles du Saloum à partir des scènes Landsat et Spot

sites	Landsat76	Spot avril 1991	Spot octobre 1991
Longueur de Diakhanor au Lagoba	7890 m	5066 m	4850 m
Largeur du bolong de Gokehor	Entrée 432 m Milieu 369 m	Entrée 521m Milieu 442 m	Entrée 544 m Milieu 487 m
Largeur de la passe de Dionewar	Entrée 122 m Milieu 22 m	Entrée 44 m Milieu 82 m	Entrée 28 m Milieu 76 m
Largeur de Sangomar au nord de Djifère	340 à 560 m	340 à 560 m	400 à 180 m

Diaw A T (1997)

Plus récemment, El hadji balla Dièye et *al* (2013), ont étudié la dynamique du Lagoba entre 1990 et 2010, et les résultats de leurs travaux sont illustrés par le tableau N° 42 ci-dessous

Tableau 33: : Evolution de la largeur de la brèche de Sangomar entre 1990 et 2010

Années	1990	1999	2001	2005	2010
Largeur de la brèche (en km)	2,03	3,73	3,79	4,11	4,93
Taux de progression (en m/an)	677	189	30	80	164

Images Satellitaires SPOT (2001, 2005) et Landsat (1990, 1999, 2010)

El hadji balla Dièye et *al* (2013)

Maintenant, quelles explications donner à la dynamique qui a conduit à l'ouverture de la flèche et élargi le Lagoba ?

D'abord, nous tentons des explications par les facteurs hydro-climatologiques, géomorphologiques et hydrodynamiques.

5.2.1.2. Les facteurs hydro-climatologiques.

De 1980 à 1988, toutes les directions dominantes ont été d'Ouest contribuant au renforcement de la houle du Nord-ouest. Tous les vents ont une efficacité morphologique avec des vitesses toutes supérieures à 4 m/s. En 1980, 5,1 m/s au mois de mars ; 1982, 6 m/s en février ; 1986, 6,2 m/s en janvier. A partir de 1986, toutes les vitesses sont supérieures à 5 m/s. Cette situation perdure et aboutit aux fortes vitesses de 1987 : Janvier 5,3 m/s, février 6,2 m/s, mars 7,0 m/s, avril 6,0 m/s et mai 5,0 m/s. A cela s'ajoutent les fortes températures des eaux de surface : 1981, 27°,78 C ; 1982, 21°,70 C ; 1983, 28° C à 40° C ; 1984, 18°,61 C ; 1985, 28°,28 C ; 1986, 25°,54 C ; 1987, 23°,55 C augmentant la capacité évaporatoire. Ce qui explique en partie, les fortes houles de 1987 aboutissant à la rupture.

Enfin, selon A T Diaw, « le corps des phénomènes hydro-climatologiques exceptionnellement observé le 27 février 1987 par la conjonction d'un passage d'une dépression barométrique

(970 hecto pascals) d'une houle marquée par de fortes amplitudes (2,5 à ,35 m) et des marées de vives eaux », peut expliquer en partie la rupture du Lagoba.

A cela s'ajoutent des conditions hydrodynamiques particulières.

5.2.1.3. Les facteurs hydrodynamiques.

La flèche est jalonnée de fonds pré littoraux. Ces fonds ont « été observés en 1927, 1958, 1969 et 1986. L'extrémité distale de la flèche est aujourd'hui presque soudée, dans sa partie interne (côté estuaire), au banc sableux, ce qui va contribuer à la progression significative ».

Ces fonds pré littoraux sont visibles sur la figure 37 de 1891 faite par Bouteiller C (1891).

L'évolution de la flèche est donc tributaire des bancs pré littoraux.

En outre, le chenal est déformé à plusieurs endroits. Selon Pelnard-considère (1959) : cité par Diaw A T (1997) « la déformation de ce chenal s'est opérée en liaison avec des méandres accusés. Cette situation a entraîné l'obstruction des extrémités méridionale et septentrionale du chenal le rendant de facto inutilisable.

Ainsi en 1914 ou 1915, le Saloum débouchait en mer par la passe dite "passe de l'Ouest" bordée au Nord par le banc de Sangomar et au Sud- sud-ouest par le banc de l'Ouest ».

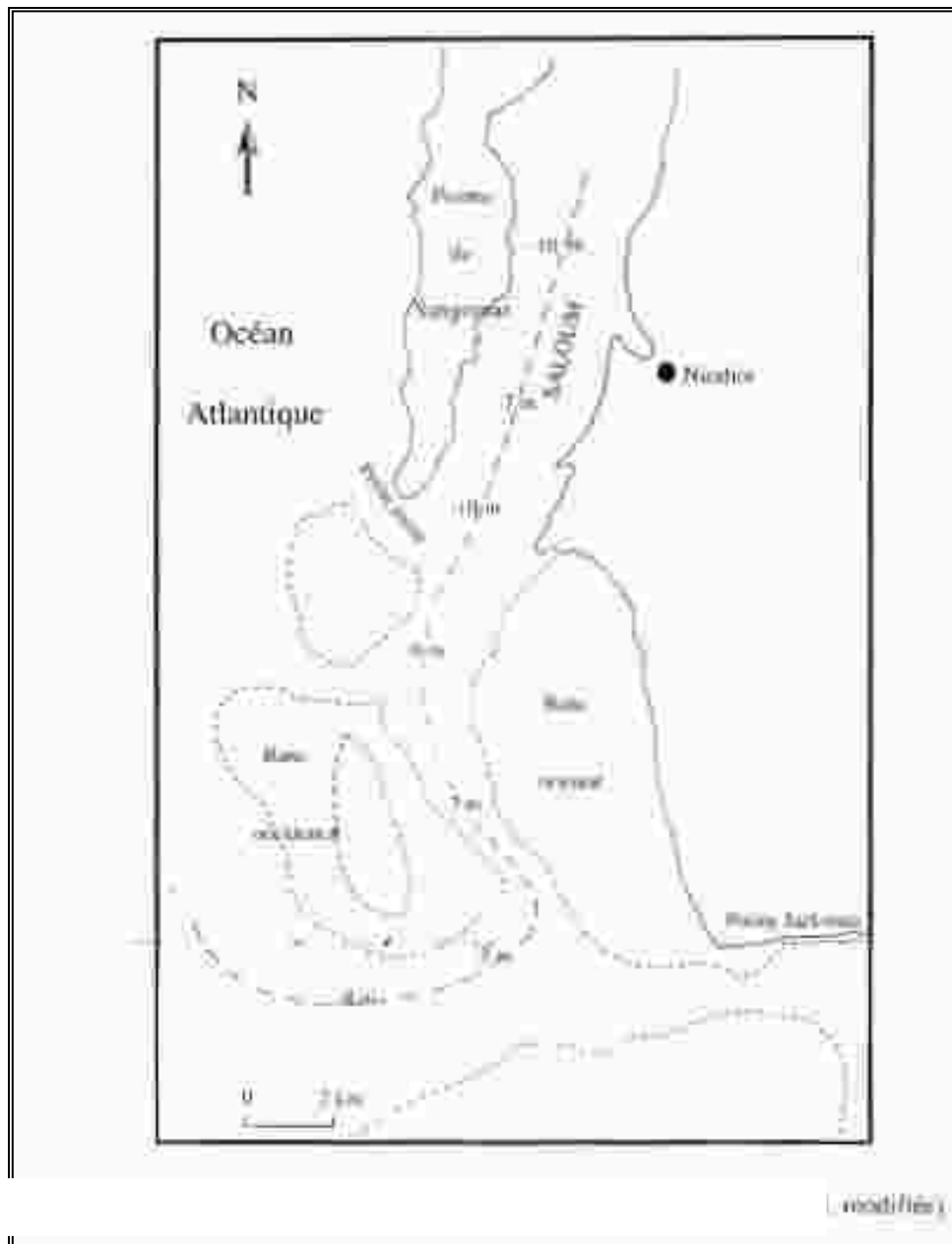


Figure 34: embouchure du Saloum d'après bouteiller (1891), In Diara M (1999)

Par ailleurs Ndiaye H G (1992) propose cette version : « une étude comparative des images Spot du 09 mai 1986 et du 2 mars 1987, a été conduite par Diaw A.T. (1991). Elle montre de profondes modifications de la distribution des isobathes, à la hauteur du Lagoba, notamment la disparition de la barre pré-littorale observable en 1986 et la construction d'une zone pré-littorale en forme d'amphithéâtre en 1987. Si les raisons de la disparition de la barre pré-littorale sont mal connues, leurs conséquences ne laissent pas de doute ; le rôle de boudoir joué par cette forme a été annihilé, ce qui a permis aux houles, de consacrer une part plus importante de leur énergie à éroder l'ombilic du Lagoba ».

Au point de vue marnage, toutes les hauteurs maximales de marée ont dépassé 1,70 m de 1981 à 1987. Mais elles sont plus fortes entre 1974 et 1980, et avoisinent 1,80 m.

Pourtant l'année 1987 a accusé une légère baisse 1,73 m (cf. tableau 43) :

Tableau 34: marnage de 1974 à 1987

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1,80m	1,80m	1,80m	1,80m	1,80m	1,80m	1,80m
1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
1,78m	1,75m	1,79m	1,72m	1,74m	1,78m	1,73m

Diaw A.T. (1997)

Enfin, sauf à Rufisque et à Saly, la faiblesse de l'érosion dans certains secteurs le long de la Petite Côte à cause de la protection du littoral par les installations touristiques, constitue un facteur limitant pour l'engraissement de la flèche par la dérive littorale.

5.2.2. Bathymétrie et courantométrie

Les travaux de Diaw A T (1997) nous sont d'un grand apport dans ces deux domaines, surtout dans celui de la bathymétrie.

5.2.2.1. Bathymétrie.

De Sangomar à Foundiougne, « le chenal du Saloum est relativement profond (les profondeurs inférieures à 13 m y sont rares et dépassent même dans certains cas 25 m, au niveau des fosses). En amont de Foundiougne, le Saloum rencontre le Sine et devient très sinueux tout en gardant une direction générale jusqu'à Kaolack. Sa largeur est relativement faible dans cette zone, n'excédant que rarement 500 m. La profondeur diminue également, restant le plus souvent inférieure à 5 m. Le chenal du Diomboss est relativement profond.

Des fonds de 10 m y sont régulièrement rencontrés. Des profondeurs atteignant 25 m sont enregistrées dans certaines fosses » (UICN 2004).

Les croquis N° 38 et 39, proposés par Diaw A T (1997), montrent l'évolution des différents fonds de l'embouchure de 1930 à 1988. Ces illustrations indiquent une diminution progressive du chenal principal par un ensablement ; les fonds de -11 m se rétrécissent, tandis que ceux inférieurs à -5 m s'élargissent. Enfin en 1958, aucun fond n'est supérieur à 8 m sauf dans le chenal principal, en 1992, les bancs de sable qui existaient auparavant sont transformés en îlots qui s'agrandissent rétrécissant le chenal (Diaw A T 1997).

Les deux croquis montrent que les parties les plus profondes sont enserrées entre les îles Dionewar, de Niodior et le Lagoba où certains fonds avoisinent les 11 m. Les parties les moins profondes concernent les berms longeant les îles où se rencontrent les bancs de sables.

Enfin, dans la figure de 1987 et 1988, se constate une multiplication des fonds de – 11 m (fig. 38 et 39).

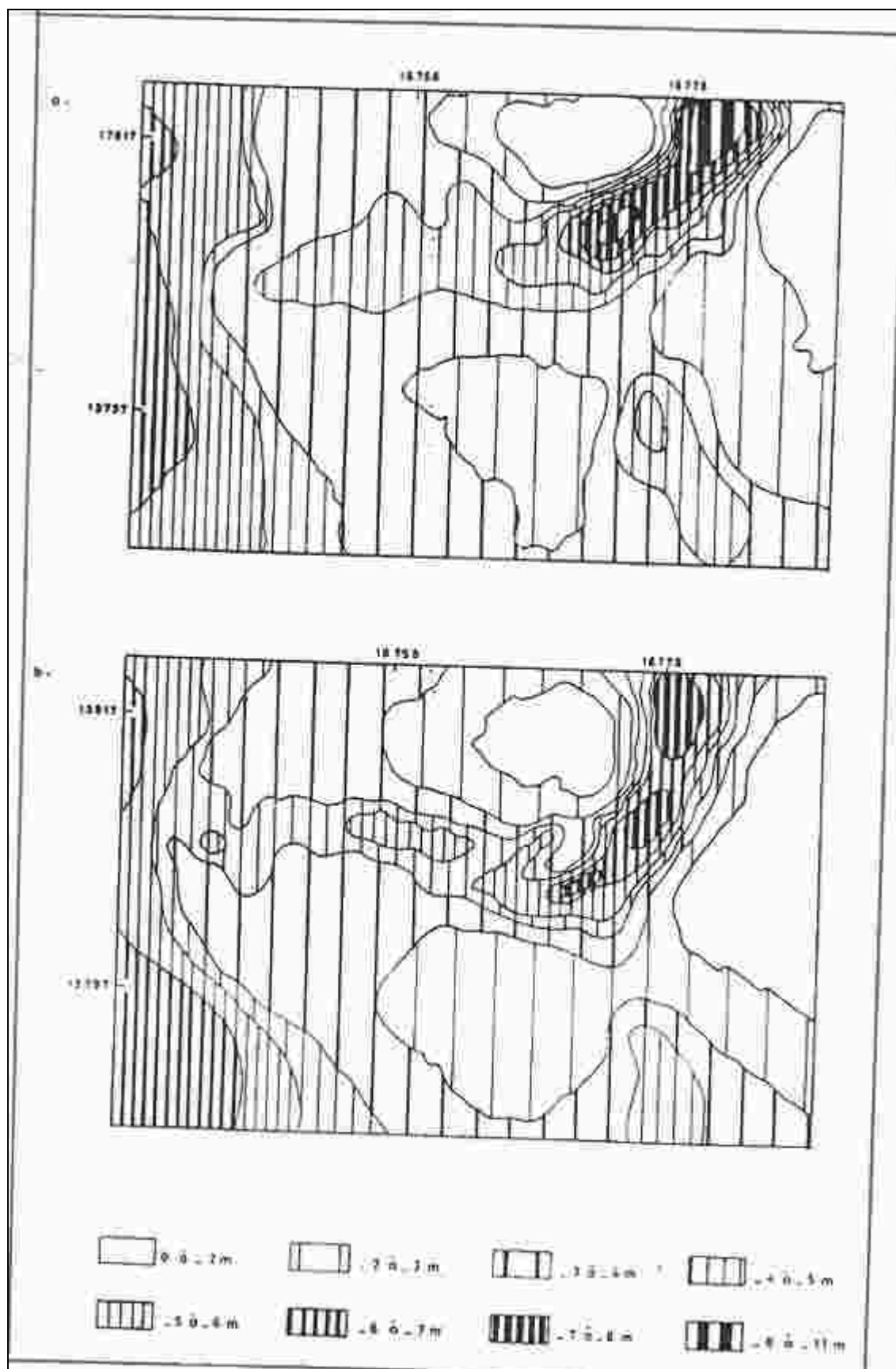


Figure 35: bathymétrie de l'embouchure du Saloum en 1930 et 1950

Diaw A T (1997)

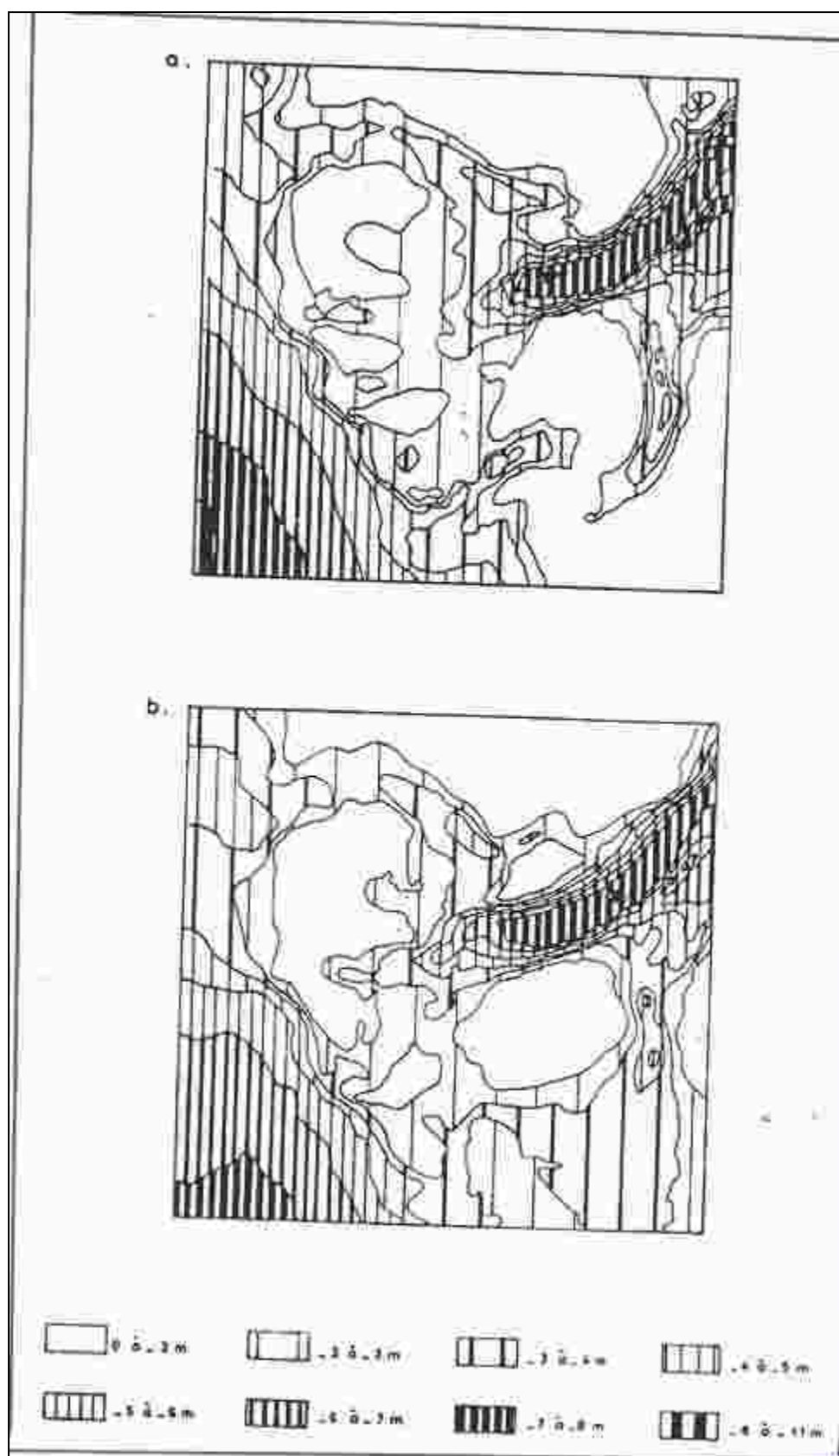


Figure 36: bathymétrie de l'embouchure du Saloum en 1987 et 1988

(Diaw A T (1997))

Les résultats obtenus par Saos J. L (1985) permettent de dire que le chenal du Saloum dans sa partie aval est relativement profond. « Les valeurs mesurées sont rarement inférieures à 13 m (14 m à Djifère et Ndangane, 13 m à Djirnda, 17 m Foundiougne) et peuvent même être supérieures à 25 m au niveau des fosses. Le Diomboss présente des profondeurs plus importantes que celles du Bandiala.

Les profondeurs de 10 m sont fréquentes dans le Diomboss et des valeurs allant jusqu'à 15, voire 25 m, sont enregistrées au niveau des fosses ; par contre, dans le Bandiala, des fonds de 10 m sont rarement atteints ».

Nos mesures faites en août – septembre 2008 en temps de marée haute, sur les quatre principales lignes : Saloum, Diomboss, Bandiala et Sine, ont prouvé des fonds irréguliers sur le même chenal d'un lieu à un autre et ont fait constater que le Saloum a enregistré les plus grandes profondeurs. Le constat s'impose :

- le marigot de Ndangane est le plus ensablé avec moins de 3 m ;
- le marigot de Faoye a des fonds variant entre 1,42 m à Djilor et 12,37 m à Mbolonghass II ;
- la ligne de Nganassaw où les fonds sont voisins de 5 m ;
- le long du Saloum, de Djifère au pont Noiroth les profondeurs varient entre 5,5 et 5,6m ; ensuite de Kahone à Keur Ndoula, elles sont inférieures à 2 m, mais se rencontrent des fossés à Foundiougne (≥ 14 m), à Rofangué (12,6 m) et à Ndolette (10,8 m) ;
- le Diomboss enregistre des fonds avoisinant les 6 m mais, les bouches du Léba sont plus profondes avec 6,8 m;
- enfin, le Sine à deux points profonds à Niam Diarokh (8,1 m) et à Fayako (6,5 m).

Les tableaux 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 et 51 soulignent les variations des profondeurs dans les lignes principales et dans certains bolongs en août/septembre 1997 et en 2008.

Tableau 35: profondeur ; marigot de Ndangane août/septembre 1997

Stations	Profondeur (m)	Profondeur de la clarté (m)
Ndangane	2,03	2,03
Mar Soulou	2,4	2
Mar Fafaco	2,56	2,08
Djilor	1,42	1,42
Simal	2,38	2,2

Tableau 36: profondeur ; marigot de Faoye août/septembre 1997

Stations	Profondeur (m)	Profondeur de la clarté (m)
Faoye	4,37	2,62
Faoye Est.	6,8	3,38
Ndjonda	7,4	3,66
Mbolonghass I	8,7	3,75
Mbolonghass II	12,37	2,66
Diamniadio	9,64	2,63

Tableau 37: profondeur ; marigot de Nganassaw août/septembre 1997

Stations	Profondeur (m)	Profondeur de la clarté (m)
Fayil	4,9	2
Sakhor	3	1,9
Sendiff	4,9	1,9

Tableau 38: profondeur en haute marée; Saloum août/septembre 2008

Stations	Profondeur (m)
Djifère	5,5
Confl/Ndang/Saloum	11,7
Djirnda	5,5
Rofangué	12,6
Foundiougne	>14
Ndolette	10,8
Sud Ndangane Diène	8,9
Lyndiane	8,6
Pont Noiro	5,6

Tableau 39: profondeur le long du Saloum

Stations	Profondeur (m)	Disque de Secchi (m)
Foundiougne	>14	2,25
Ndolette	10,8	2
Ndangane Diène	8,9	1,9
Sud Gandiaye	9	1,5
Sud Gamboul	9,5	2,5
Sud Sibassor	8	2,7
Kabatoki	6,3	1,9
Lyndiane	8,6	2,9
Pont Noiro	5,6	1,5
Kahone	<2	fond visible
Palado	<2	fond visible
K Ngane Demba	<2	fond visible
Ndoffane Maserigne	<2	fond visible
Tchikat	<2	fond visible
Kougnace	<2	fond visible
Keur Ndoula	<2	fond visible

Tableau 40: profondeur en haute marée; Diomboss août/septembre 2008

Stations	Profondeur (m)
Sokone	2,5
Sud Gouk	5,8
Sud Poutaké	3,5
Ouest Bétenti	2,8

[illegible]

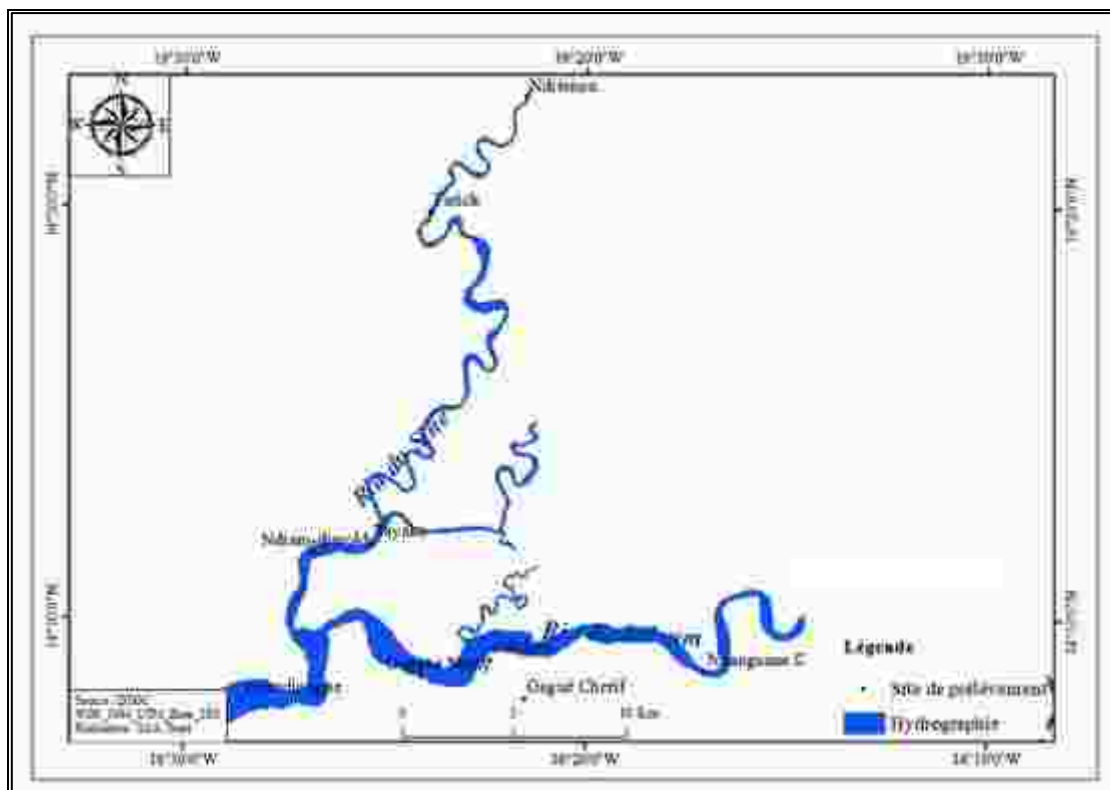
Tableau 41: profondeur en haute marée; Léba août/septembre 2008

Stations	Profondeur (m)
Bouches du Léba	6,8
Ouest Missirah	2,8
Ouest Toubacouta	6

Tableau 42: profondeur en haute marée; Sine, août/septembre 2008

Stations	Profondeur (m)
Niam Diarokh	8,1
Fayako	6,5
Fatick	4,6
Ndiémou	< 1

Carte 22: profondeurs dans le Sine



5.2.2.2. Courantométrie

Un an après la rupture de la flèche, la recrudescence des conditions hydrodynamiques s'accroît par la puissance des houles. Le tableau 52 ci-dessous montre les houles au large de la Petite Côte.

Tableau 43: caractéristiques des houles au large de la Petite Côte entre janvier et juillet

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Directions	N320-5°	N330-7°	N160 290°	N140 300°	N320 1°	N330 -2°	N200 310°
Hauteurs	0,5 3,5m	0,5 2,5	0,5 3,5	0,5 4,5	0,5 4	0,5 3	0,5 4m
Haut moy	2,30m	1,70	1,60	2,00	1,85	1,70	1,90m
Périodes	4 - 10s	5 -12	3 - 10	4 - 14	4 - 9	4 - 10	4 - 10s
Pério moy	6,6s	7,3	6,3	7,8	6,2	7,1	6,5s
Cambr m	0,040	0,024	0,032	0,025	0,035	0,026	0,033
Houle mo	N360°	N360°	N340°	N360°	N340°	N340°	N330 - 350°
Haut	1,5 - 2m	1,5 -2	1 - 2	1,5 - 2	1,5 - 2	1,5 - 2	1 - 15m
Période	6s	6 -7s	5 - 6s	8s	5s	8s	5s
cambrure	0031	0,028	0,035	0,018	0,045	0,018	0,028
Nbre jours de Houle <3	7j	0	2	5	1	1	2j

Sall MM (1982)

Ces mesures sont prises à des intervalles réguliers et à l'aide d'un courantomètre à hélices, à des points fixes durant le flot et le jusant. Les vitesses sont données en mètres/seconde. Les travaux de Diop E.S. (1987) nous ont permis d'avoir des illustrations par les figures suivantes. Si on représentait la hauteur d'eau en un point pendant un flot et un jusant, la courbe aurait l'allure suivante illustrée dans les figures 40, 41 et 42:

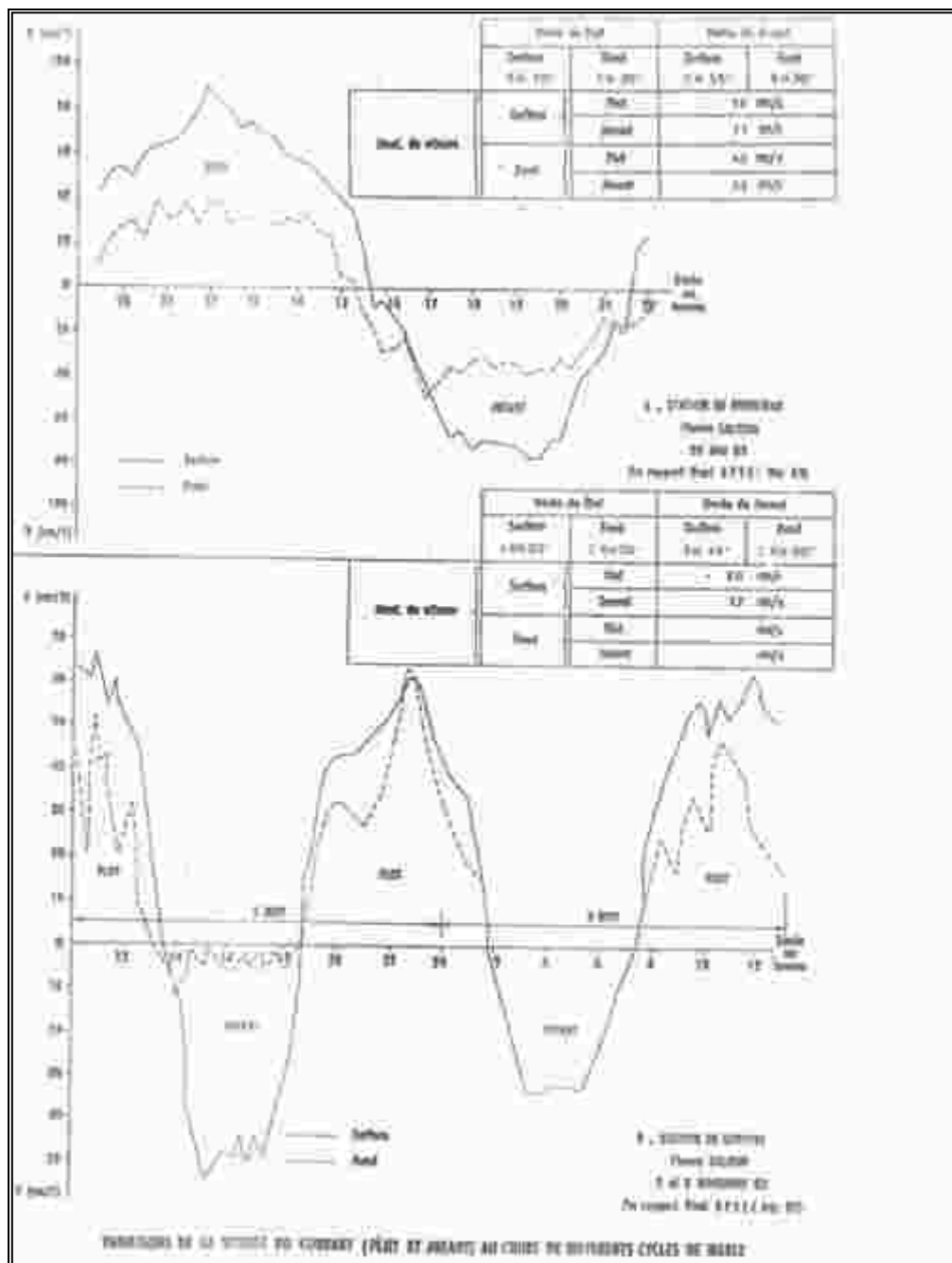


Figure 37: représentation de la marée

Diop E. S (1987)

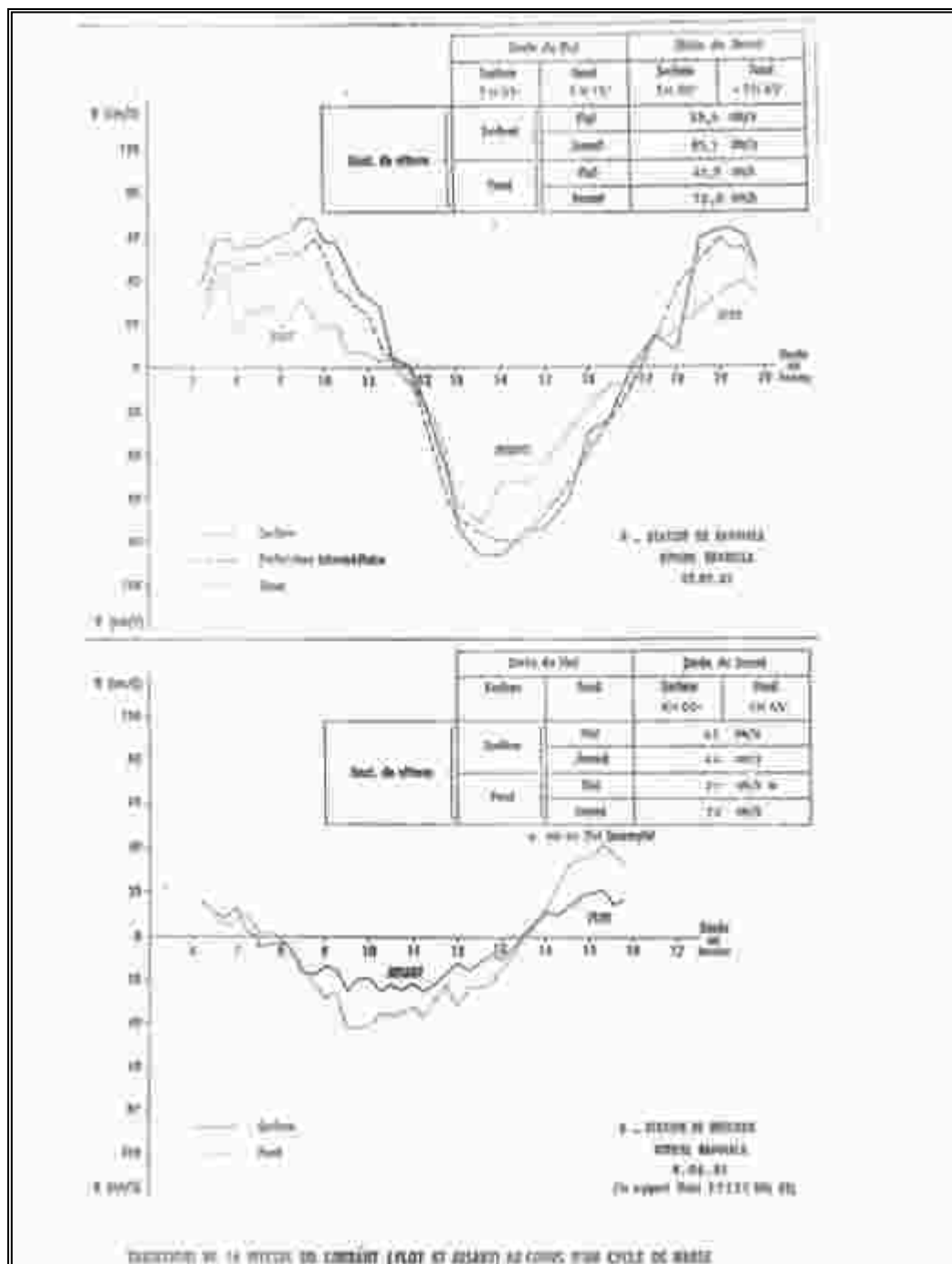


Figure 39: courbes d'évolution du flot et du jusant

Diop E. S (1987)

Mais, ces données étant relativement anciennes (1987) peuvent être radicalement modifiées par les conditions climatiques et océanographiques actuelles ; malheureusement nous ne disposons pas de données nouvelles, faute de courantomètre.

5. 2. 3. Les facteurs géomorphologiques

Diaw A T (1997) avance deux principales thèses : le Lagoba aurait lui-même fonctionné comme embouchure avec comme preuve, « l'étranglement de la flèche au sud de Djifère et qui est une zone topographiquement faible dans le dispositif général de Sangomar. En réalité, le Lagoba, par la grande étroitesse et sa position, constitue jusqu'à la hauteur de Djifère, l'enracinement de la flèche. Il semble que sa progression soit accompagnée d'un recul de sa racine et de sa partie la plus ancienne ; ce qui est effectivement produit en 1987 ».

Seconde thèse : « le plateau continental au droit du Lagoba, constitue un champ favorable au déroulement des houles ; ce qui a pour effet d'induire des modifications de l'estran ».

Enfin « la conjonction de ce facteur géomorphologique avec une situation météorologique favorable (marées de vives eaux, fortes houles) serait à l'origine de la réouverture du Lagoba » (Diaw A.T et *al* 1991).

Pour nous, l'accumulation d'un stock sédimentaire drainé par la dérive littorale Nord- sud et par le Saloum à partir du bas plateau du CT, est à l'origine du rehaussement du plateau continental au droit de Djifère. Cet engraissement diminue la profondeur et favorise l'action du jet de rive et accélère l'érosion au niveau du Lagoba.

Tableau 44: Cinématique du Lagoba

années	1990	1999	2001	2005	2010
Largeur de la brèche (km)	2,03	3,73	3,79	4,11	4,93
Taux de progression (m/an)	677	189	30	80	164

Sources : Images Satellitaires SPOT (2001, 2005) et Landsat (1990, 1999, 2010)

D'après Diop Samba (2011), la brèche du Lagoba était de 2,07km en 1989, 4,37 km en 2006 et à 5,96 km en 2010 ». (Voir tableau 54)

Tableau 45: Progression de l'ouverture de la brèche de 1989 à 2010

Années	Longueur de l'ouverture
1989	2,07 km
2006	4,37 km
2010	5,96 km

Diop Samba (2011)

Le stock sédimentaire originaire de cette ouverture a largement contribué à la multiplication des bancs sableux et à la formation d'une nouvelle flèche au large de Dionewar. La figure 43 retrace la dynamique du Lagoba par les images Landsat de 1984 à 2010 traitées par Diop Samba (2011).

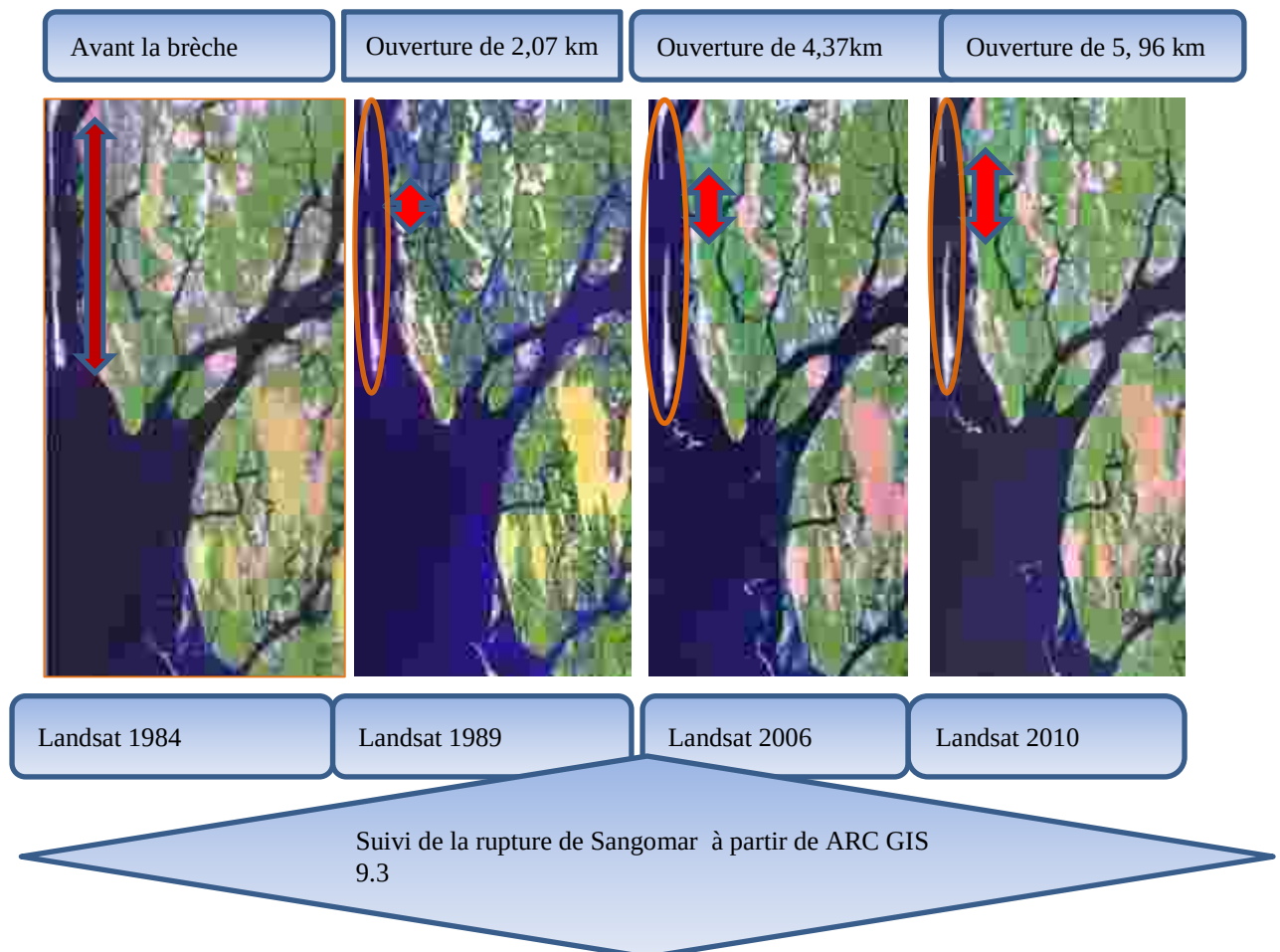


Figure 40: Suivi de la rupture de Sangomar

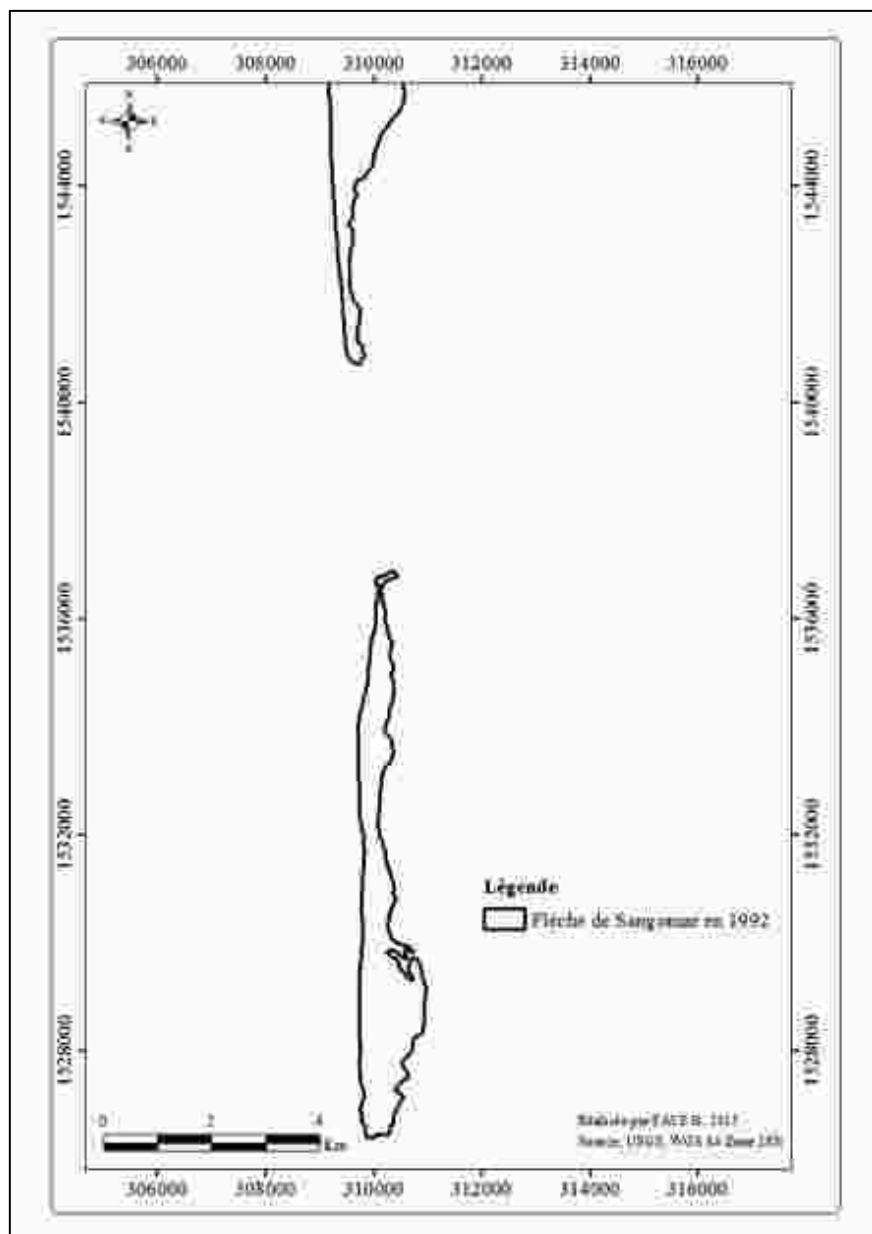
Diop Samba (2011)

De 1992 à 2014, nos mesures à partir des cartes diachroniques ont montré un léger raccourcissement de 80 m entre 1992 et 2003 et une augmentation de 2,14 km. Par ailleurs, le crochet qui existait au sommet de l'île en 1992, s'est érodé en 2014. Enfin, se remarque un rétrécissement de la largeur de la flèche de 1992 à 2014. Le tableau 55 et les cartes N° 23, 24 et 25 soulignent la dynamique de la brèche en termes d'érosion.

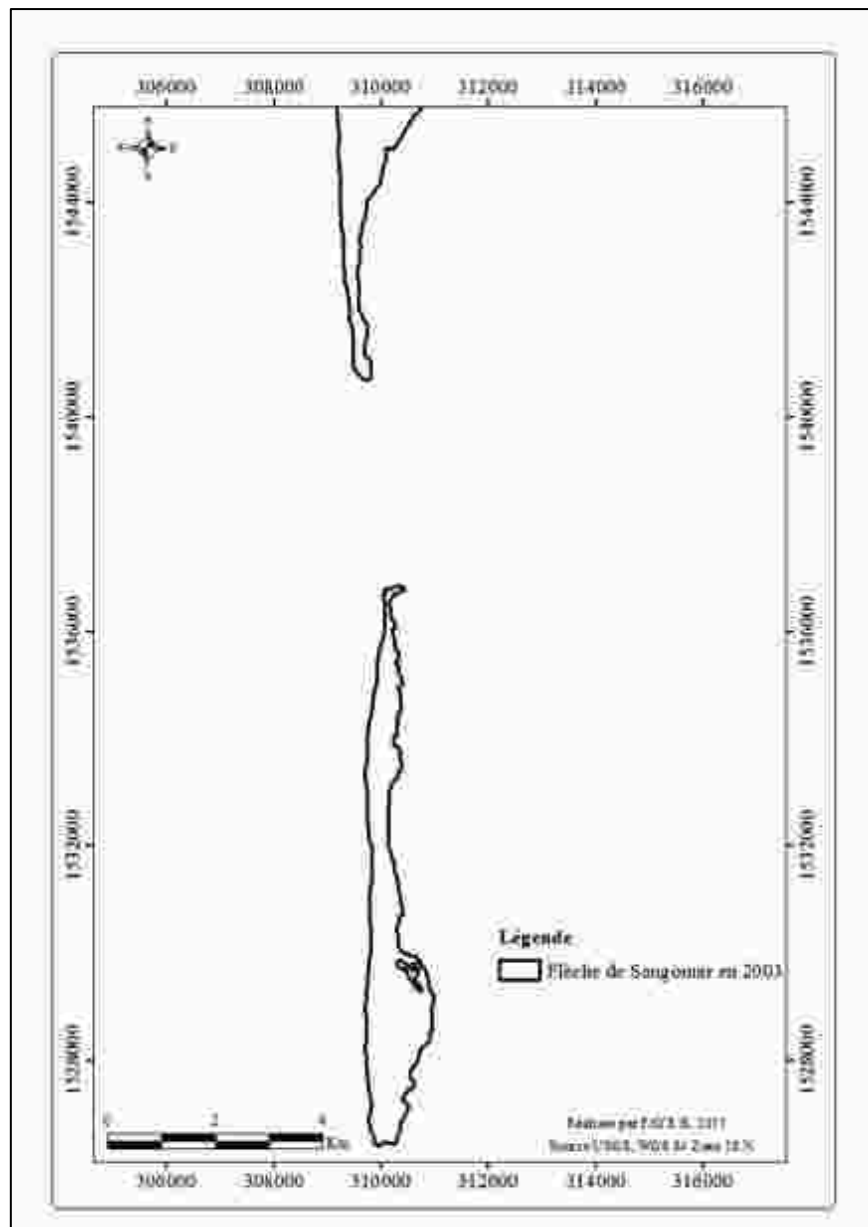
Tableau 46: Progression de l'ouverture de la brèche de 1992 à 2014

Années	Longueur de l'ouverture
1992	4,01 km
2003	3,93 km
2014	6,07 km

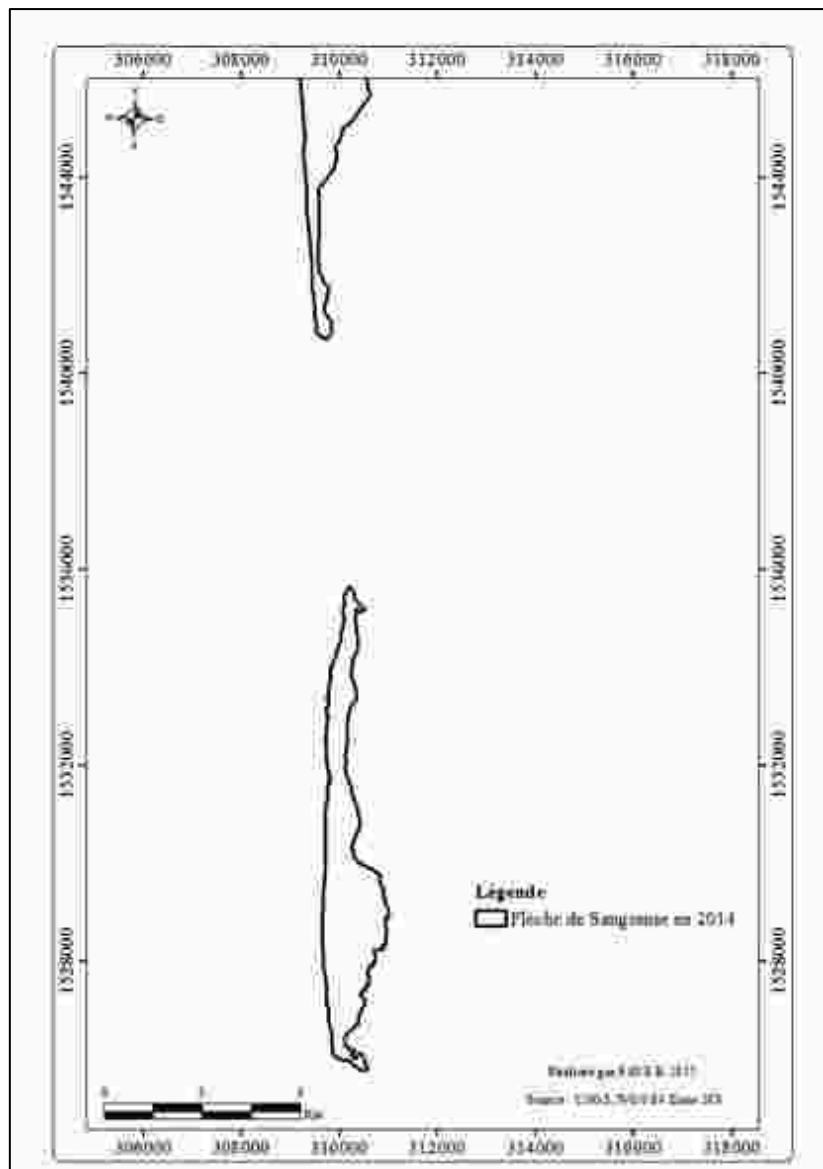
Carte 23: l'ouverture de la brèche de 1992



Carte 24: l'ouverture de la brèche de 2003



Carte 25: l'ouverture de la brèche de 2014



5.2.3.1. La formation de flèches

Sur l'ensemble des côtes sénégalaises et pour une élévation du niveau marin de 1 m d'ici à 2100, Dennis et *al.* (1995) « prévoient qu'entre 55 et 86 km² de plages disparaîtraient suite à une recrudescence des phénomènes d'érosion côtière ».

Dans le secteur, le phénomène est plus accentué. Les estrans et la pointe de Sangomar sont soumis à une forte érosion. Cela est confirmé par Sall MM (1982) qui explique que « la migration vers le Sud d'un stock appréciable de sable qui vient s'accumuler sur le banc du nord est une preuve d'érosion de la pointe ».

La couverture aérienne de 1984 fait remarquer une forte présence de la mangrove de Dionewar à Bétenti, une flèche effilochée dans sa partie centrale, recouverte de mangrove et d'une savane boisée mais ne présentant pas de rupture. Cette flèche jouait le rôle d'écran aux fortes vagues en direction du Gandoul.

La carte fait ressortir aussi le développement des bancs de sable.

Par ailleurs, dans la partie aval du segment distal, le schéma de la circulation de sédiments est le suivant :

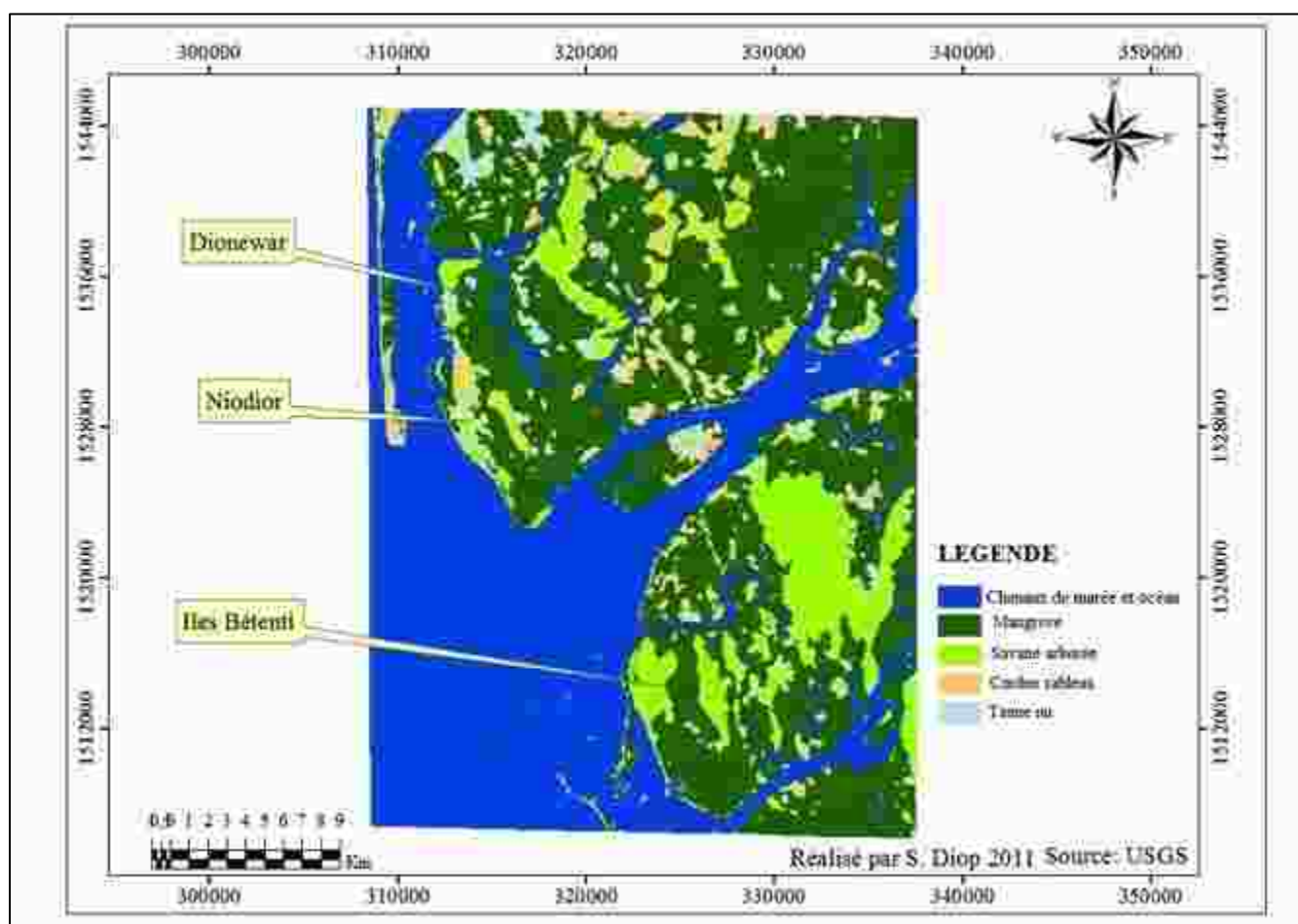
- une partie de la charge solide mobilisée par la dérive, chemine vers les fonds pré littoraux parallèlement à la flèche et en dents de scie sur l'estran ; le vecteur étant ici le jet de rive.
- une autre partie pénètre dans le chenal d'embouchure, mobilisée par le flot ; alimentant ainsi les bancs de sable en filade le long des chenaux de marées.

Comparée à la situation de 1984, la carte N° 26 montre une augmentation des bancs de sable et une diminution des surfaces occupées par la mangrove dans les îles à l'Est de la flèche.

En 1989, l'ouverture atteignait 2,07 km, mesurée à l'aide du logiciel Arc Gis 9.3 par Samba Diop en 2011. « Les wagons » sédimentaires s'intensifient en direction de Dionewar, de l'extrémité distale de la flèche et vers les îles Bétenty ».

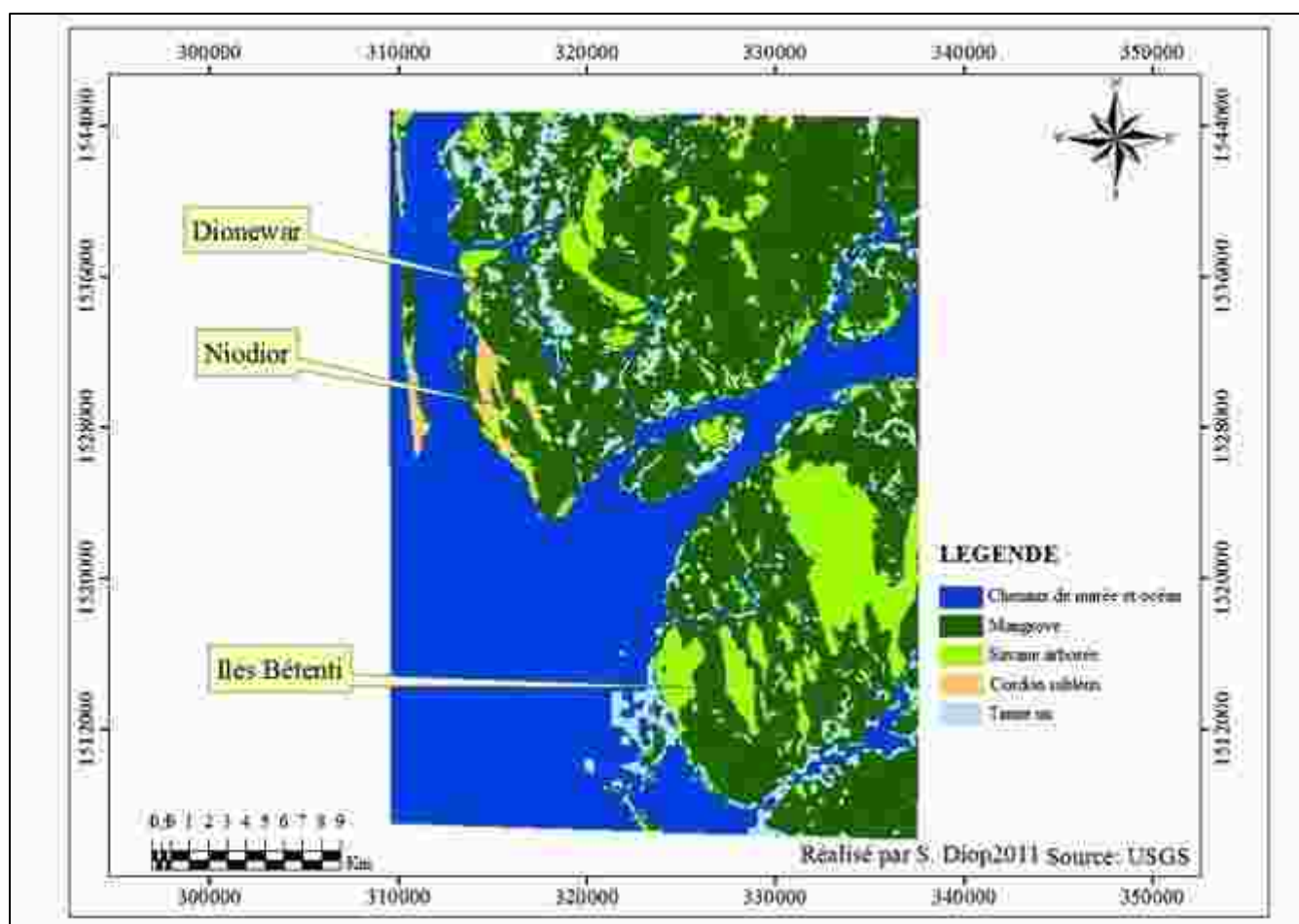
Ce transit sédimentaire Nord-Sud dont la plus grande masse de ce stock s'est accumulée au droit de Dionewar a été à l'origine de la nouvelle flèche et de l'extension des bancs sableux au droit de Niodior et de Bétenty.

Carte 26: paysages littoraux en 1984



Diop Samba (2011) modifiée

Carte 27: paysages littoraux en 1989



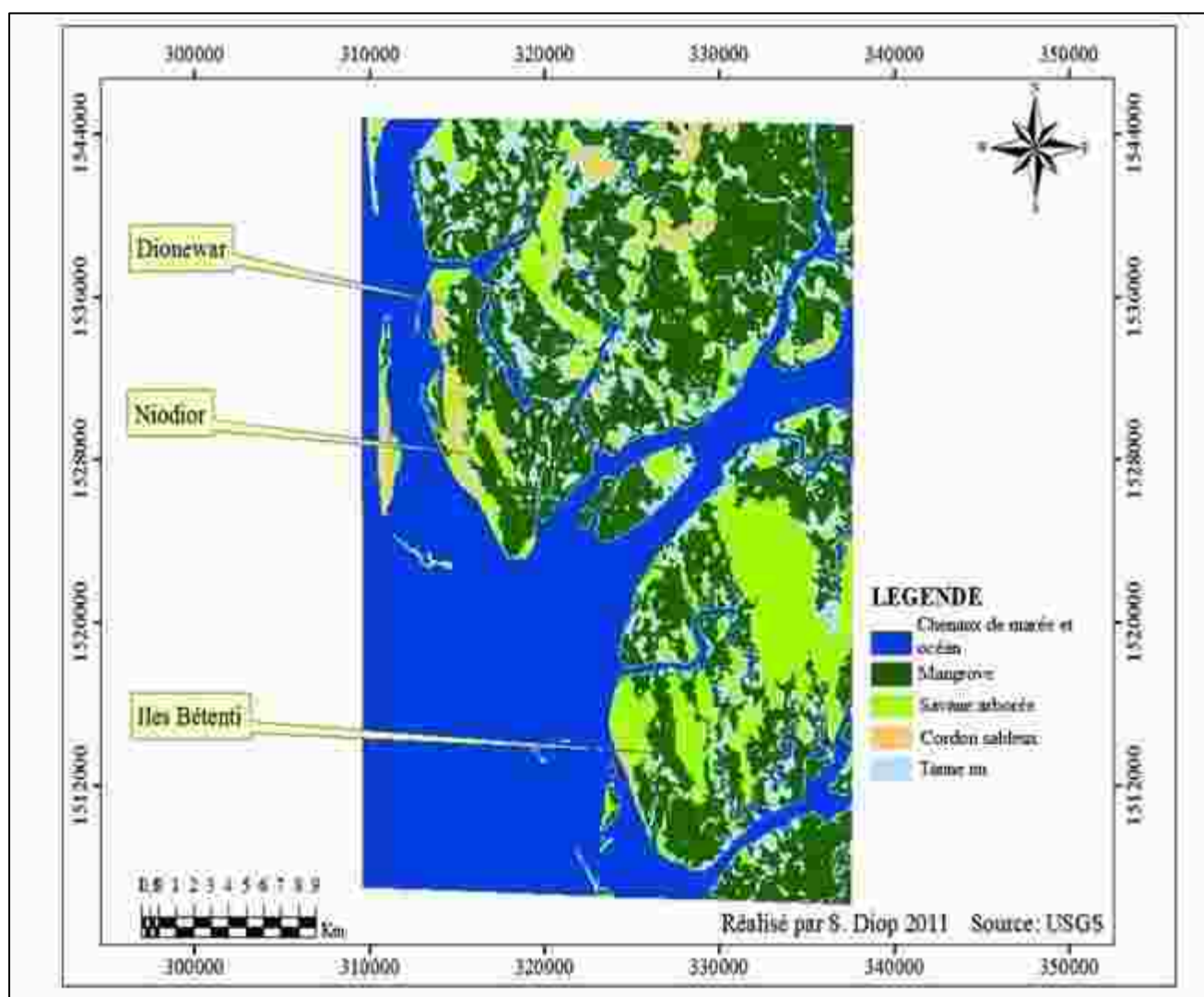
Diop Samba (2011) modifiée

La situation morphologique des paysages en 2010 révèle une augmentation de la brèche, accentuant le transit sédimentaire vers le Sud et vers Dionewar.

Sont observables, une succession de bancs sableux s'allongeant vers le Sud, un rétrécissement de la surface occupée par la mangrove, une extension des vasières nues et du plan d'eau du delta.

A ce phénomène, s'ajoutent la recrudescence de l'érosion littorale au Nord-est de Dionewar et l'allongement de la deuxième flèche sur 2,7 km environ.

Carte 28: paysages littoraux en 2010



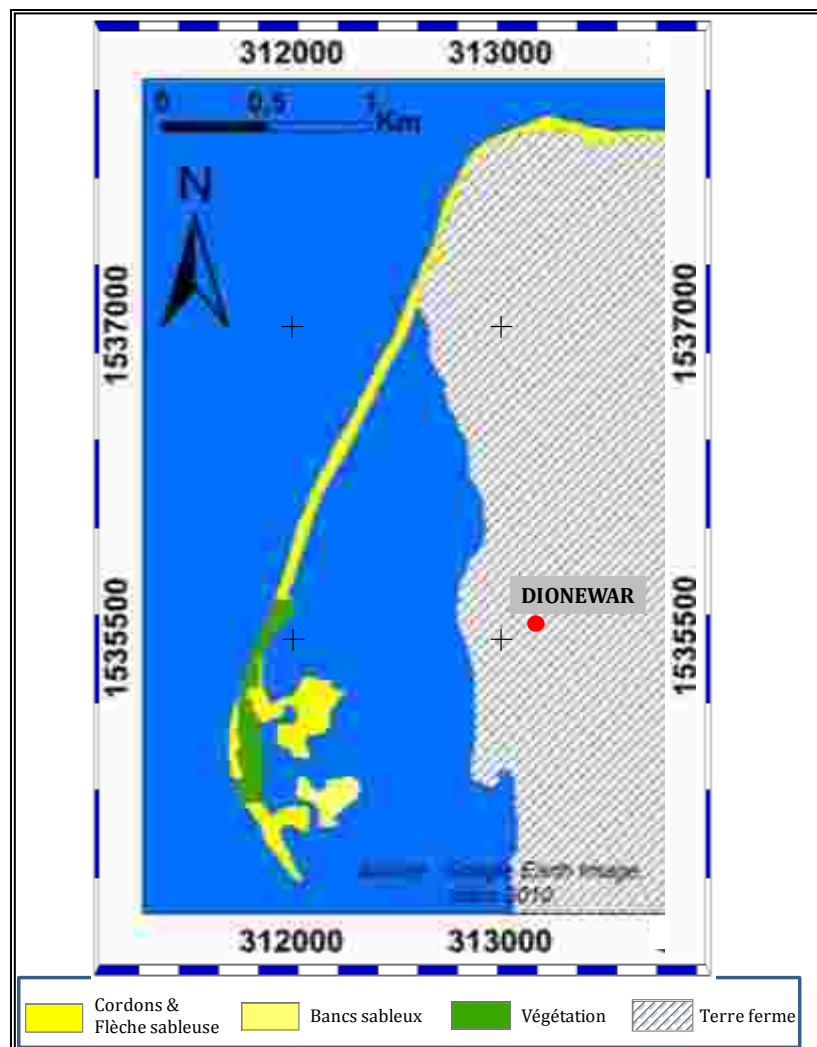
Diop Samba (2011) modifiée

La formation de la flèche de Dionewar peut avoir plusieurs explications :

La houle peut être à l'origine de la configuration des marais surtout dans les secteurs où ces marais sont en front de mer. C'est la remarque de Turmine Vincent (juin 2001) pour qui « la dernière configuration des marais à mangrove est sous la dominance d'une houle de direction préférentielle. Cet agent morphogénique connaît des variations saisonnières qui modifient sa direction et sa puissance. Elle favorise donc une dérive littorale et se remarque aux débouchés fluviaux par la présence de flèches et par une forte concentration de sables dans les sédiments du marais » ; cela peut être à l'origine de la formation de la flèche de Dionewar.

- l'autre explication tient au fait que, les sédiments dérivant du Lagoba, se sont accumulés en s'allongeant au large de Dionewar conformément à la direction de la houle du NW.

Carte 29: flèche de Dionewar en 2010



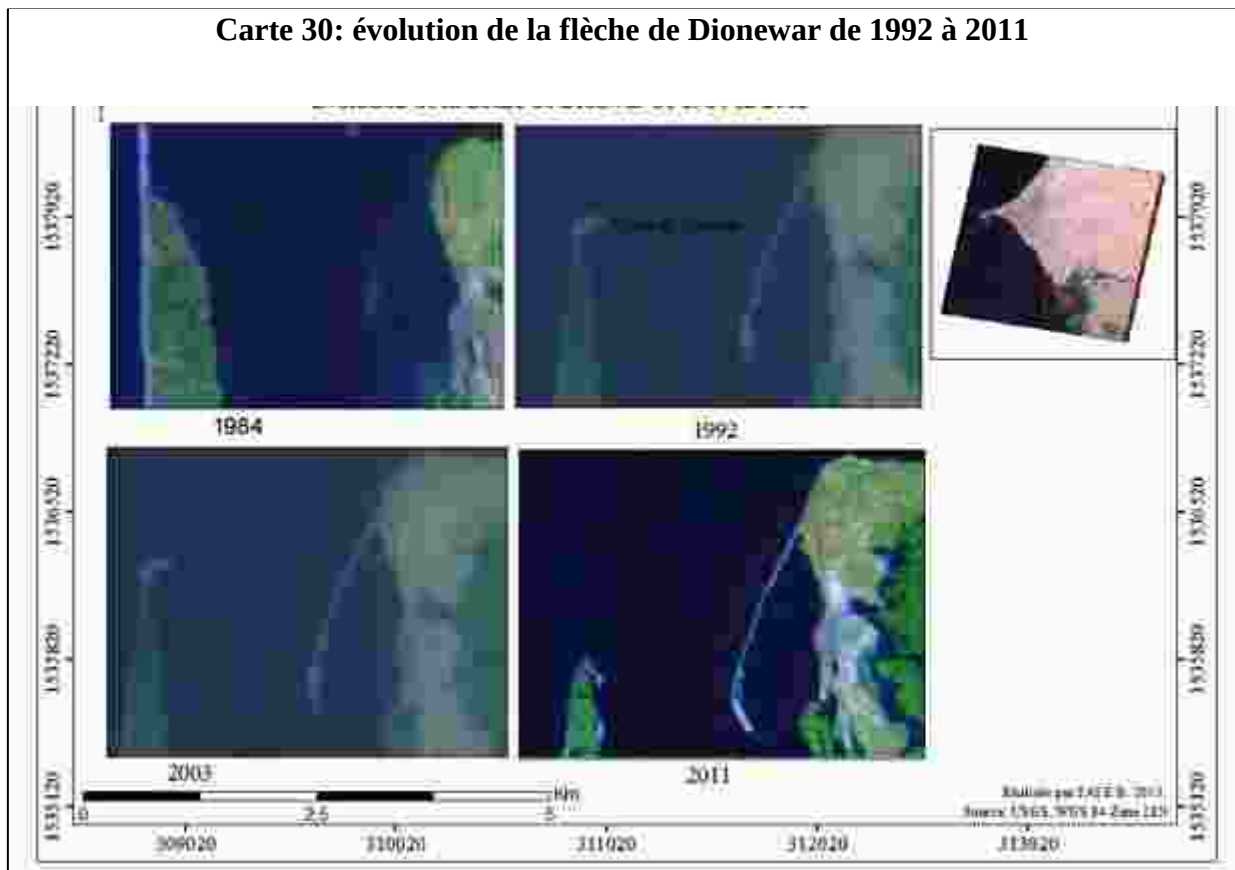
***Dynamique de la flèche de Dionewar**

En 1984, il s'agissait d'une succession de bancs, qui vont se raccorder après l'ouverture du Lagoba.

Cette flèche a connu une évolution assez lente en raison d'un fond à son bout. Sur la carte 30, les mesures suivantes ont été prises :

- 2,2 km en 1992 ;
- 2,3 km en 2003 ;

Carte 30: évolution de la flèche de Dionewar de 1992 à 2011



- et 2,7 km en 2011.

5.2.3.2. La formation de bancs sableux.

L'érosion est beaucoup plus vive au Nord-est de Dionewar ; mais de la racine de la flèche de ce village aux îles Bétenti, se remarque une succession de secteurs engraisés et de secteurs démaigris. Cela est illustré par cette carte 31 tirée de Diop Samba (2011).

Au large de Dionewar et de Niodior, un pêcheur nous a montré 10 bancs de sable visibles à marée basse. Les principaux ont été repérés par G.P.S type Garmin 76 cx.

Premier banc de sable au droit de Djifère dans le Saloum ; 13°56'242''N/16°45'683''W ;

Deuxième banc de sable au droit de Djifère dans le Saloum ; 13°54'757''N/16°44'147''W ;

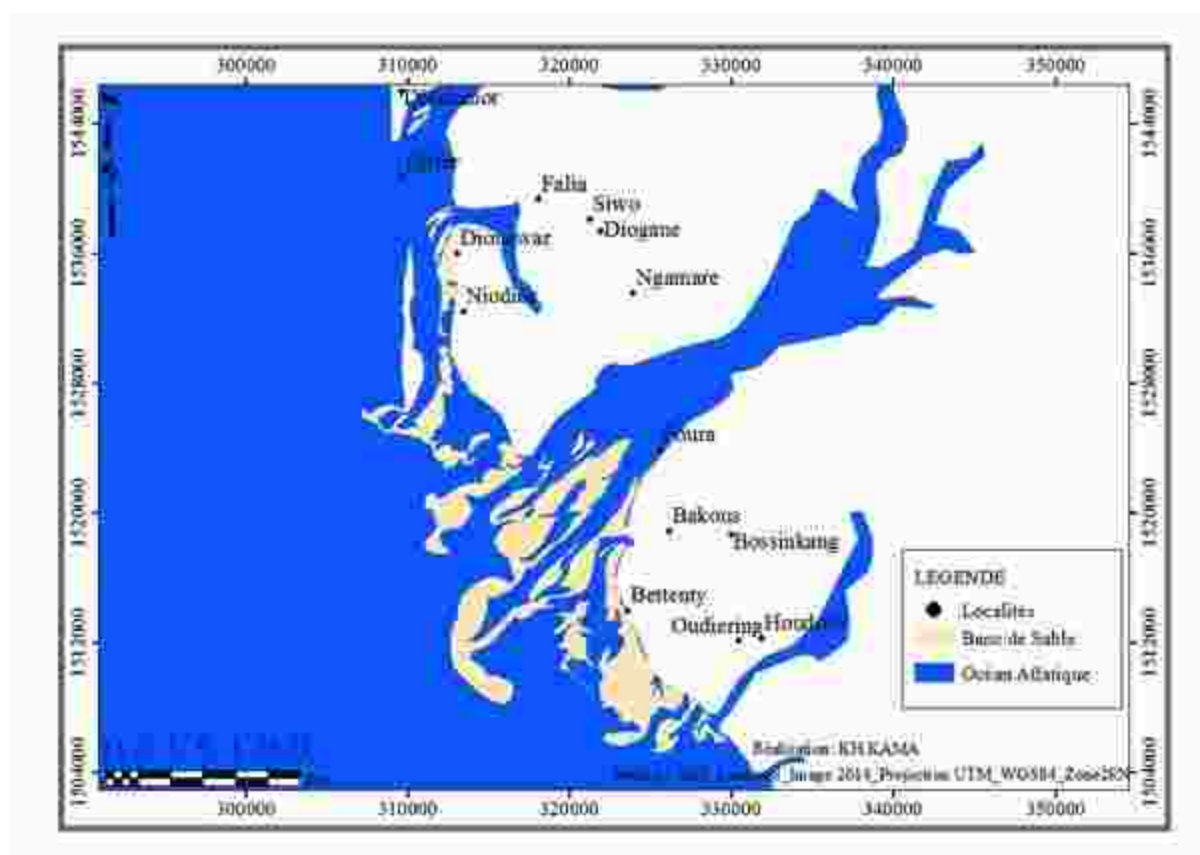
- banc de sable entre la flèche de Dionewar et le village ; 13°52'845''N/16°44'481''W.

- banc de sable au droit de Niodior 13°50'240''N/16°44'158''W ;

- banc de sable au droit de Fandiong I ; 13°50'064''N/16°44'118'' ;

- banc de sable au droit de Fandiong II ; 13°49'719''N/16°43'804''W.

Carte 31: bancs de sable du droit de Dionewar aux bouches du Diomboss



D'après cette carte 32, le stock sédimentaire issu du nord de Dionewar dérive et s'accumule au large de Bétenti.

Diop S (2011), utilisant la méthode des piquets, (repères) a souligné que dans le secteur de Dionewar à Niodior, l'érosion est très active.

Le trait recule de 3 centimètres tous les dix jours ; soit 45cm par mois ou 5,40 m par an.
« En 2010 environ, une vingtaine de mètres séparait le baobab de la zone d'influence de la mer, cette distance passe à 8 mètres en 2011.

Selon un gérant de campement touristique installé dans le terroir, l'activité érosive est intense dans ce secteur. De 2009 à 2011, 49 palmiers et 17 baobabs ont été déracinés par la force des vagues » (Diop S 2011).

Carte 32: localisation des zones d'engraissement et de démaigrissement,

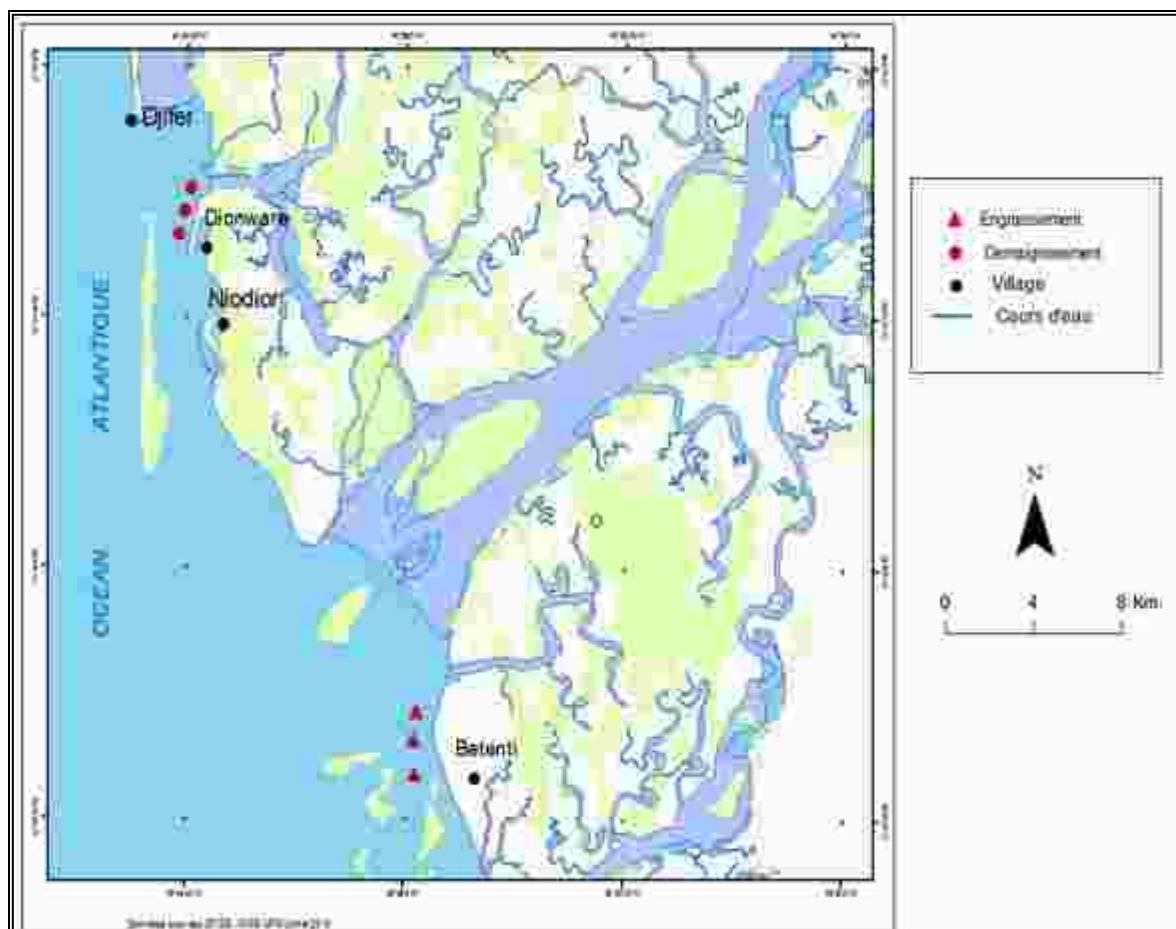


Photo 7: Forte avancée de la mer à l'entrée de Dionewar



Progression de la mer vers le continent de 2010 à 2011

Diop Samba (2011).

Diop S (2011)

Par contre, les villages de Niodior et Bétenti sont relativement protégés et leurs estrans ont enregistré un taux d'engraissement de 2,5 cm /10 jours, soit 4,5 m par an selon la méthode des piquets utilisée par Diop S en 2011. Ce stock est aussi à l'origine de la formation et du développement des bancs sableux. Ces bancs sableux existent presque dans le domaine insulaire mais, sont développés au large de Dionewar, de Niodior, de Bétenti, de Djinack Bara - ouest, de Missirah. Dans ces secteurs, les dépôts de sable sont si importants que la navigation est impossible à marée basse.

Au niveau de Dionewar, se note l'édification par accumulation sur d'anciens bancs découverts à marée basse, d'une barrière de protection composée d'éléments sableux et de nombreux coquillages.

Au droit de cette localité, Diaw A T (1997) avait remarqué « l'exacerbation des phénomènes d'engraissement qui se manifestent par le renforcement des bancs sableux situés à la sortie du bolong de Gokehor ». Il ajoute : « la largeur moyenne du chenal qui mène à ce village est passée de 172 m (Landsat 1976) à 63 m (Avril 1991), puis à 42 m (Octobre 1991).

Par ailleurs, les bancs situés au sud de la partie distale de la pointe de Sangomar connaissent une extension et un engraissement très visibles. L'extension Est-ouest du banc du nord se poursuit parallèlement à l'incurvation Sud-ouest du banc de l'Est et à son éclatement.

Ces mouvements favorisent l'étranglement de la passe ».

D'autres bancs ont été découverts à la confluence du Saloum avec le bolong de Falia au large de Niodior et au sud de la pointe Jackonsa.

Photo 8: Bancs sableux le long du Saloum



UICN (2004)

Au droit de Bétenti, ces bancs sableux sont à l'origine des îles aux bœufs. L'évolution géomorphologique de ces unités a été étudiée par Diara M (1999) qui a constaté une accrétion illustrée par la figure 44.

Cet accroissement vers le sud était long de 2,5km, et en même temps que la pointe s'élargissait, se constatait un démaigrissement du segment nord.

Finalement, nous constatons que la rupture du Lagoba a été expliquée par plusieurs facteurs dont beaucoup sont liés au changement climatique en cours.

Beaucoup de chenaux ont connu un ensablement modifiant la bathymétrie de l'ensemble du système estuarien. Les paysages littoraux ont connu une dynamique érosive des années 1980 aux années 2010.

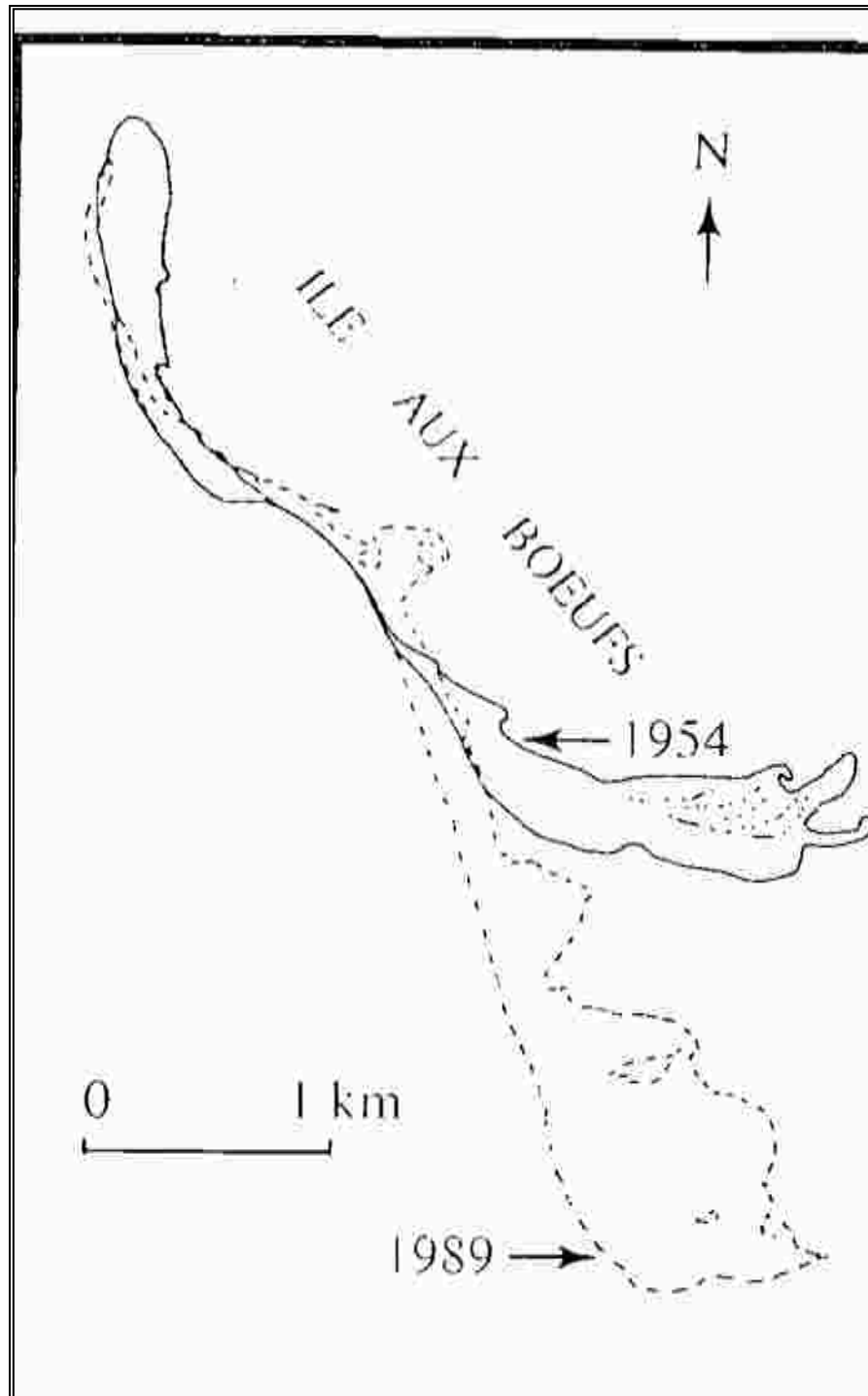


Figure 41: évolution de la ligne de rivage de l'île aux bœufs entre 1954 et 1989

Diara M (1999)

Chapitre 6 : les unités morphologiques : localisation, caractérisation, sédimentologie et dynamique.

6. 1. La localisation, la caractérisation et la sédimentologie

6.1.1. Le fond des chenaux

6.1.1.1. La variation des profondeurs

6.1.1.2. La sédimentologie

6.1.2. Les berges et les estrans

6.1.2.1. La localisation et la caractérisation

6.1.2.2. La sédimentologie

6.1.3. Les bancs sableux

6.1.3.1. La localisation et la caractérisation

6.1.3.2. La sédimentologie

6.1.4. Les vasières à mangrove

6.1.4.1. La localisation et la caractérisation

6.1.4.2. La sédimentologie

6.1.5. Les tannes

6.1.5.1. La localisation et la caractérisation

6.1.5.2. La sédimentologie

6.1.6. Les cordons

6.1.6.1. La localisation et la caractérisation

6.1.6.2. La sédimentologie

6.1.7. Les vallées fossiles

6.1.7.1. La localisation et la caractérisation

6.1.7.2. La sédimentologie

6 .2. Dynamiques des unités morphologiques des années 1980 aux années 2010.

6 .2.1. La mangrove du Saloum

6 .2.2. Dans l'ensemble de l'aire d'étude de 1986 à 2014

6 .2.2.1. La situation de 1986

6 .2.2.2. La situation de 1999

6.2.2.3. La situation de 2006

6.2.2.4. La situation de 2014

Conclusion.

Introduction.

L'analyse concerne les sédiments des fonds de chenaux, des berges et des estrans, des bancs sableux, des vasières à mangrove, des tannes, des cordons et des vallées fossiles. Il s'agit de les identifier afin de les caractériser, de connaître leur composition sédimentologique.

En dernière analyse est étudiée leur dynamique eu égard au changement climatique en cours.

6. 1. Localisation, caractérisation et sédimentologie

6.1.1. Le fond des chenaux : variation des profondeurs.

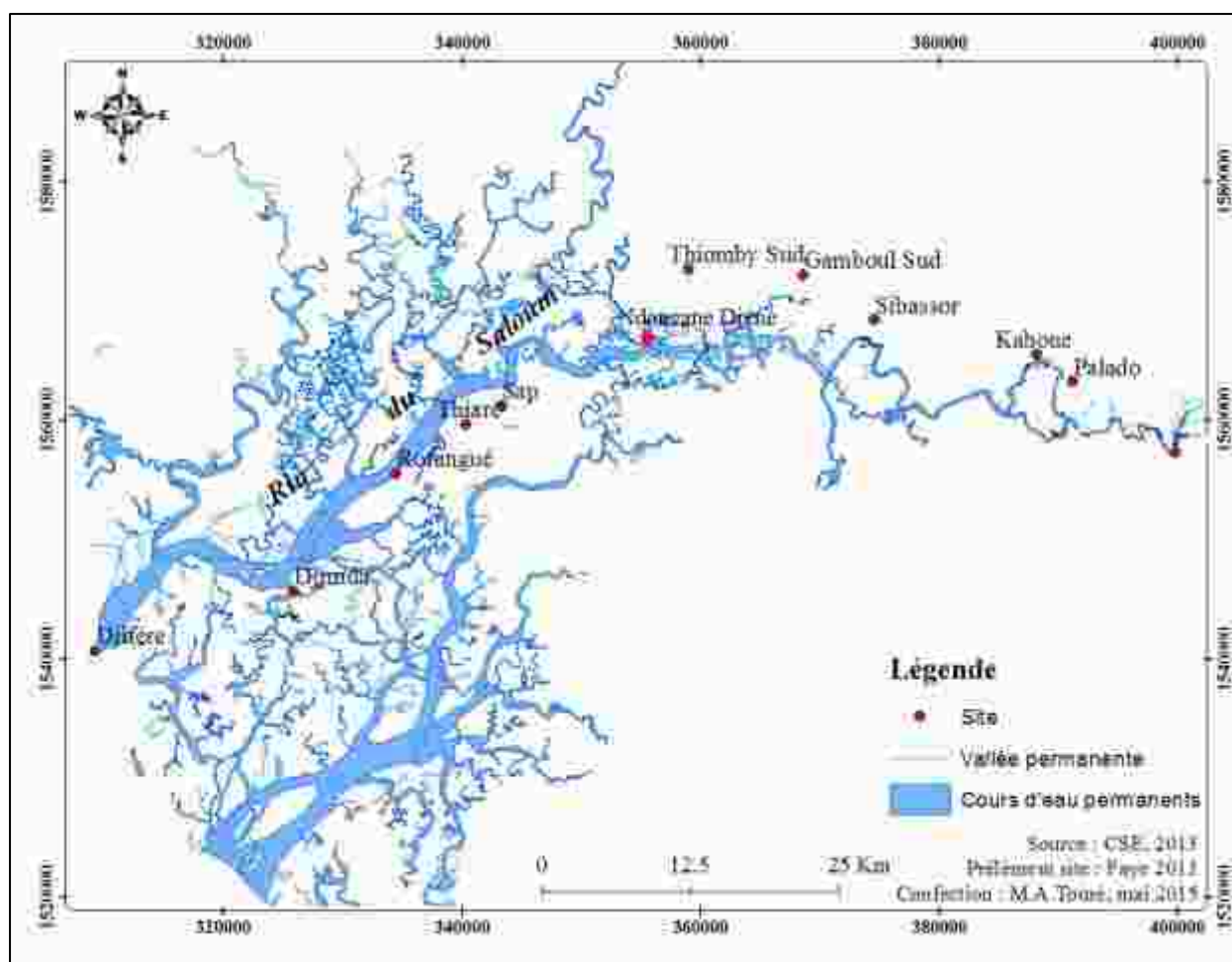
A partir de Djifère, les profondeurs semblent évoluer en dents de scie avec des fonds à la confluence Ndangane/Saloum, à Rofangué, à Foundiougne plus de 12 m et à Ndolette 10,8m. De la ligne de Kabatoki (6,3 m) la baisse est progressive jusqu'à Keur Ndoula à l'Est de Keur Mboucki.

Du pont Noirod de Kaolack (5,1 m) les profondeurs diminuent en direction de Latmingué où arrivaient les bateaux de moyen tonnage dans les années 1940.

Tableau 47: Variations des profondeurs (m) dans le Saloum.

Stations	Djifère	conf Ndang/Sal	Djirnda	Rofangué	Ouest Thiaré
Profondeur	5,5	13,7	5,5	13,6	11,7
Stations	Foundiougne	Morel	droit de Sap	Ndolette	S/Nd Diène
Profondeur	13,8	10,8	10,2	11,8	6,5
Stations	Sud Thiomby	Sud Gamboul	Lyndiane	Sibassor	Kabatoki
Profondeur	5,9	5,7	5,9	5,5	6,3
Stations	Pont Noirod	Kahone	Palado	K Ngagne D Diallo	Ndoffane Maserigne
Profondeur	5,1	1,2	1,8	1,6	1,6
				Faye G (2013)	
Stations	Tchikat B	Kougance	Keur Ndoula		
Profondeur	1,5	1,6	1,8		

Carte 33: variation des profondeurs le long du Saloum



Selon les témoignages des notables du village, le bâtiment représenté par cette photo 9 était un magasin de stockage d'arachide. La présence de ce bâtiment implique que le Saloum était navigable jusqu'à Latmingué en 1940 par des bateaux de moyen tonnage.

Photo 9: magasin de dépôt d'arachide fonctionnel jusqu' en 1940 au Nord-est du village de Latmingué, au bord du Saloum.



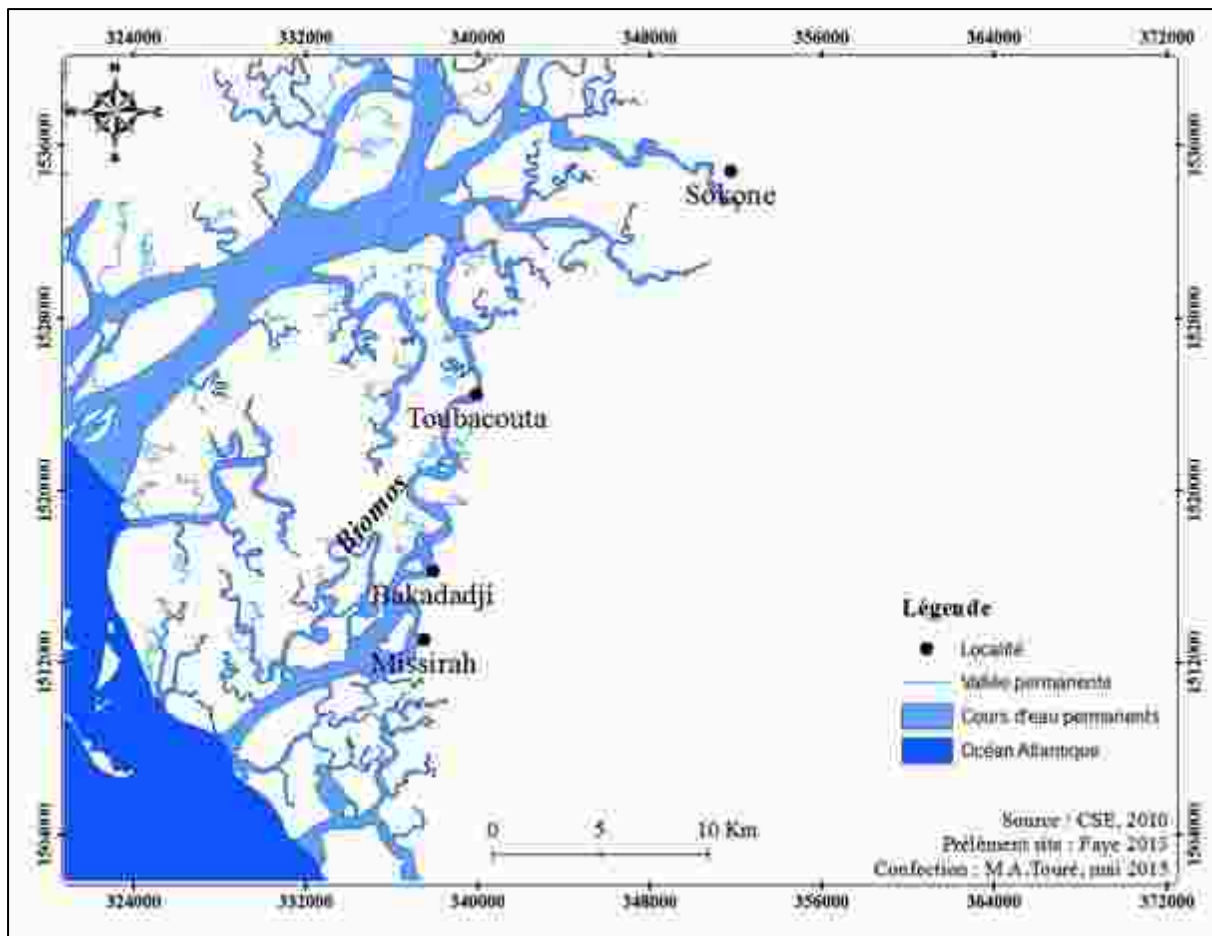
Cliché Faye G (2004)

Le long du Sine, des fonds appréciables sont visibles à la confluence avec le Saloum (8,9 m) et à Niam Diarokh (8,10 m). De là, s'amorce une baisse jusqu'au pont de Fatick où la profondeur tourne au tour de 4 m.

Tableau 48: Variations des profondeurs (m) dans le Sine

Stations	Conf/Si/Sal	Avant Niam Diarokh	Niam Diarokh	Fayako	Diandour	W Nonane
Profondeur	9,90	6,30	8,10	6,15	4,40	6,0
Stations	Nonane	Gouye Sané	Pont de Fatick			
Profondeur	4,84	4,98	3,85			

Carte 34: variation des profondeurs le long des autres bolongs



Dans les autres bolongs, les profondeurs varient entre 13,20 m pour le Diomboss à Diorom bou mak, 12,62 m dans le Bandiala à l'ouest de Djinack, 4,6 m à Sadioga (14°03'44''N/16°24'12''W dans le Guilor et 3,0 m sur la ligne Roh/Simal dans le marigot de Ndangane.

Tableau 49: Variations des profondeurs (m) dans le Ndangane

Stations	Ndangane	Mar Soulou	Mar Fafaco
Profondeur	4,30	4,40	4,56
Stations	Djilor	Roh	Roh/Simal
Profondeur	3,42	3,38	3,0

Carte 35: Variations des profondeurs (m) dans le Ndangane

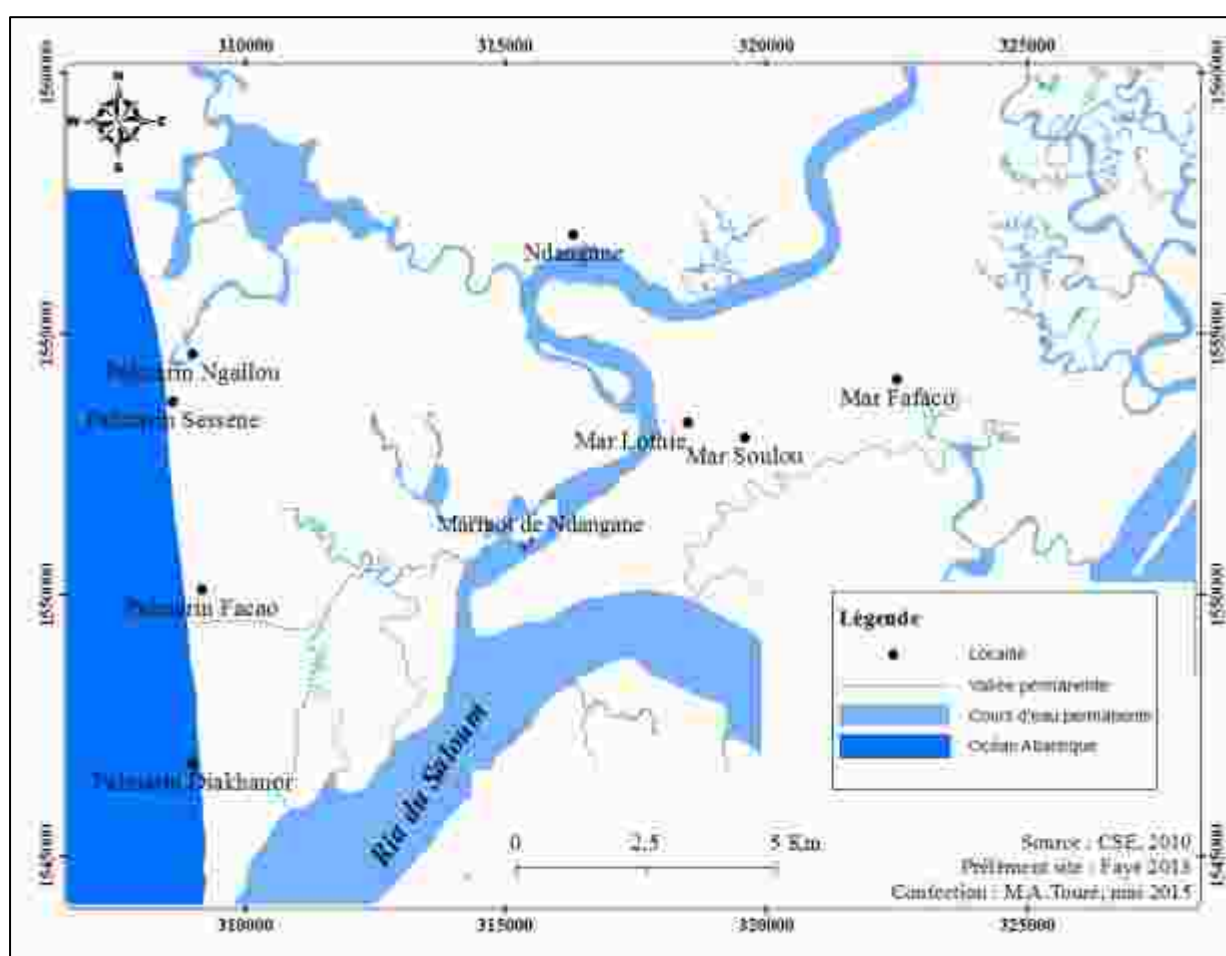


Tableau 50: Variations des profondeurs (m) dans le Diomboss

Stations	Limane	W Sokone	Bambougar	Doflé	Guira
profondeur	3,40	3,50	3,93	3,70	6
Stations	Diorom b mak	Gouk	Poutaké	W Bétenti	
profondeur	13,20	5,80	3,50	3,98	

Tableau 51: Variations des profondeurs (m) dans le Bandiala

Stations	W Djinack	E Djinack	Mi- chemin	W Missirah
Profondeur	12,62	4,41	5,2	4,7
Stations	Toubacouta	Soukouta		
Profondeur	4,62	8,50		

Carte 36: Variations des profondeurs (m) dans le Guilor/Bagal

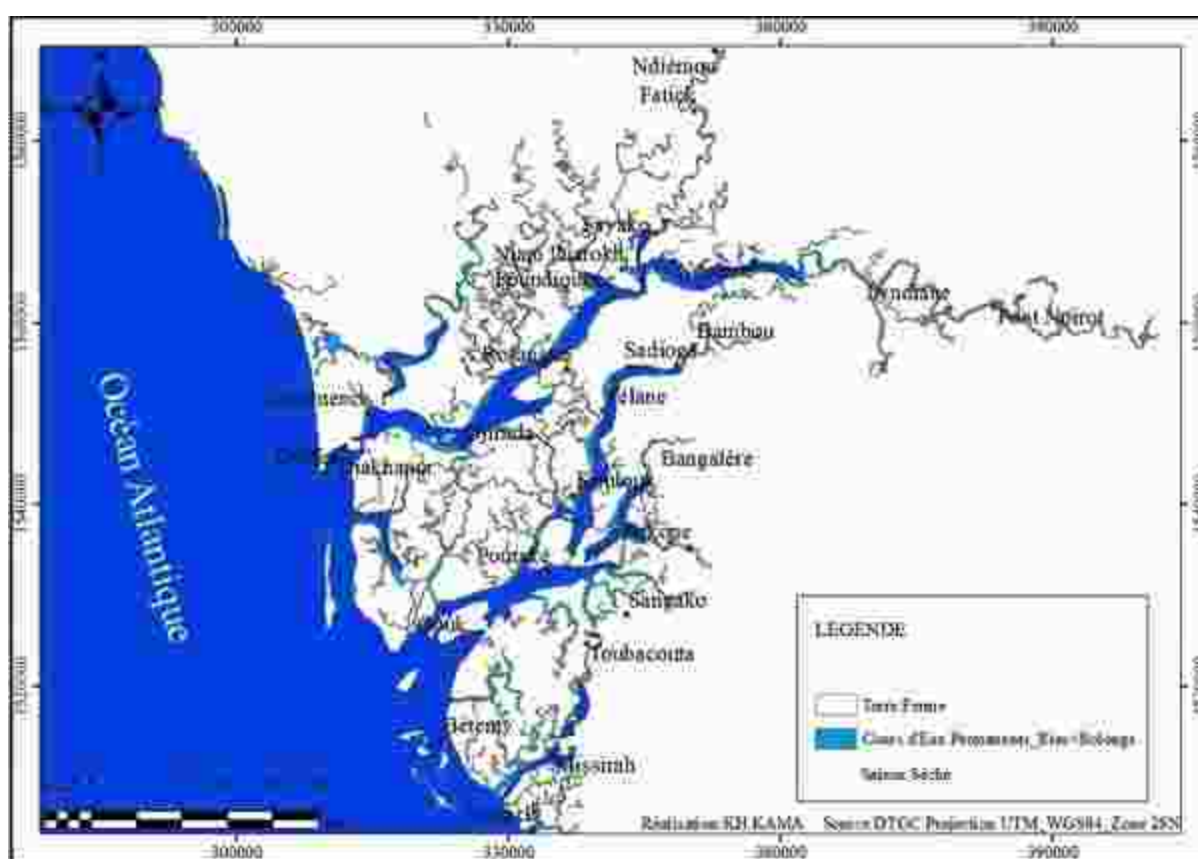


Tableau 52: Variations des profondeurs (m) dans le Guilor/Bagal

Stations	Dioudiouré	Koulouk	Bangalère	Félane	Mbélane
Profondeur	5	5,9	9,5	5,2	5,5
Stations	Sadioga	Mbambou			
Profondeur	4,6	5,5			

6.1.2. Sédimentologie

L'étude sédimentologique a porté sur les sédiments des unités morphologiques comme le fond des chenaux, les estrans et les berges, les flèches et bancs sableux, les vasières, les tannes nus et herbus, les cordons sablo-coquillers et les vallées fossiles. En sédimentologie, la granulométrie classique et la granulométrie au laser ont été utilisées et les différents indices ont été calculés et interprétés à partir d'échelle de référence comme celle de Fuchtbauer.

Tableau 53: échelle d'évaluation du degré de classement d'un sédiment

Degré de classement	$So = Q3/Q1$
très bon	<1,23
bon	1,23 à 1,41
moyen	1,41 à 1,74
mauvais	1,74 à 2,00
très mauvais	>2,00

Fuchtbauer (1959).

Se distinguent le granoclassement normal ("fining upward") où les sédiments deviennent de plus en plus fins vers le haut et le granoclassement inverse ("coarsening upward") où les sédiments sont de plus en plus grossiers vers le haut. Pour les fossiles, leur utilité a été déjà analysée par beaucoup de scientifiques qui soutiennent que « l'état de conservation des fossiles donne une indication sur l'hydrodynamisme du milieu de dépôt. Des fossiles fragiles délicatement conservés (fins tests de foraminifères, articles de crinoïdes en connexion...) témoignent d'une énergie très faible. En revanche, des coquilles cassées et classées sont caractéristiques d'un milieu agité. Leur orientation indique l'intervention d'un courant tracteur. Les traces laissées sur le fond par un organisme s'expliquent par un milieu calme; l'absence de traces d'activités biologiques indique souvent un milieu agité: les organismes non fixés ne peuvent pas s'installer généralement, les traces biologiques sont remplacées par des traces mécaniques produites par le courant ».

6.2.1. Le fond des chenaux

6.2.1.1. Domaine interne

Les échantillons de fond de chenal ont été prélevés en 2010 le long du Saloum, du Sine, du Diomboss, du Bandiala et dans les îles de Mar Lodji, Diamniadio, Djirnda, Moundé, Falia, Siwo, Bassoul, Bassar, Thialane et Diogane. Par endroits, le stock sédimentaire est composé de sable coquillier légèrement argileux, de sable grossier, de sable fin noir contenant des débris de coquilles ou de petites coquilles complètes.

Dans ce domaine, des analyses antérieures ont été faites par Diara M en 1999, analyses qui ont révélé que dans le chenal du Saloum « plus de 75 % du sédiment est représenté par du sable avec, généralement, des proportions en sable grossier plus élevées. A ces sables grossiers, sont associés des débris coquilliers et parfois des éléments de cuirasse ferrugineuse. Lorsqu'il y a deux chenaux, le sable grossier est toujours dominant dans le chenal principal. Sur les hauts fonds, le sable fin, est généralement en proportion plus élevée, mais le sable peut être quelque fois grossier. Le sable fin est toujours dominant sur les rives. Les argiles et les silts, bien que mieux représentés sur les bordures des bolongs ne dépassent qu'exceptionnellement 50 %.

Les teneurs sont généralement comprises entre 10 et 40 % réparties variablement entre les argiles et les silts. Les teneurs en carbonate de calcium varient entre 0,7 et 16,5 % ; elles sont faibles dans le chenal et augmentent sur les rives où vivent divers mollusques adaptés au milieu vaseux. La matière organique est également mieux représentée sur les rives, bien qu'en assez faible quantité ». Certains échantillons prélevés le long de l'estuaire, ont été analysés par la méthode de la granulométrie laser par voie fluide, les autres par la granulométrie classique. L'analyse au laser a concerné la fraction 0,375µm -2000µm et porte sur les sédiments sablo - argileux en provenance de Diamniadio, Ndangane Diène, Thiabane, Nawdourou, Tchikat Abdoulaye Ba, Diamal, Birkelane, Ndiémou, Sokone, Bakadadji, Ndangane Sambou, Mar Lodji et Mar Fafaco.

Le long du Saloum, de Djirnda à Birkelane, l'analyse des sédiments du fond du chenal, a révélé quatre faciès légèrement différents :

- de Djirnda à Foundiougne, le sable fin noir est légèrement argileux ;
- de Foundiougne à Kaolack, ce faciès comporte de petites coquilles complètes ;
- de Kaolack à Keur Ngagne Demba Diallo, il contient des débris de coquilles. Mais au niveau de Kahone, se rencontre une vase argileuse avec matière organique ;
- de Ngagne Demba Diallo à Birkelane, le sable noir devient grossier et légèrement argileux.

En suivant le Sine de Foundiougne au pont de Fatick, les échantillons ont permis de distinguer deux faciès :

- un sable noir légèrement argileux contenant de petites coquilles de Foundiougne à Gouye Sané ;
- de cette localité au pont de Fatick ; un faciès sableux noir grossier et argileux renfermant des débris de coquilles.

Le long du Diomboss, de Sokone à Diorom Bou mak, le faciès sableux fin noir avec coquilles complètes a été interrompu au niveau de la confluence avec les autres bolongs par un sable noir sans argile ni coquille jusqu'à l'ancien village de Guira à la confluence Diomboss/bolong de Sangako. La ligne se termine à Diorom Bou mak par un faciès sableux noir contenant des débris et des coquilles complètes.

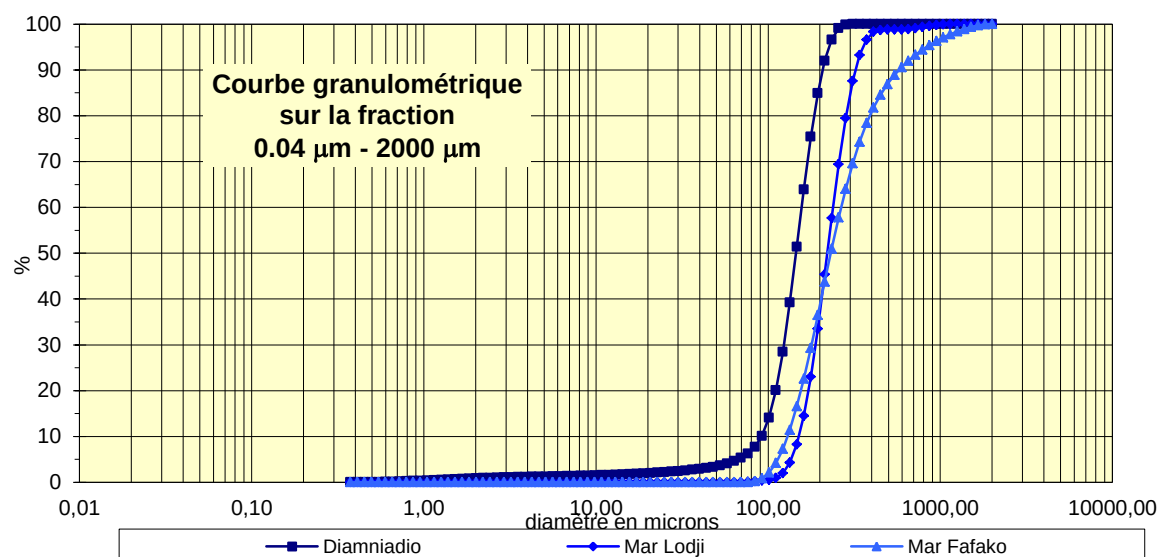
Enfin, les lignes du Bandiala et du Léba révèlent un seul faciès constitué de sable noir coquillier légèrement argileux de Djinack Bara à Missirah.

Dans les trois sites, les sédiments sont constitués à plus de 50% de sables grossiers avec 2,55% de silts à Diamniadio.

Toutes les courbes sont des sigmoïdes redressées dans la fraction sableuse.

Les paramètres texturaux évoluent de la façon suivante :

- le storting (So), partout supérieur à 1, indique un mauvais classement ;
- le coefficient d'uniformité (Cu), variant entre 1,5 et plus de 2, mais inférieur à 2,5, prouve une granulométrie presque homogène dans le fond du chenal ;
- le diamètre moyen (Mz) des particules est partout supérieur à 2, combiné à un coefficient d'asymétrie (Ski) négatif ou inférieur à 1, confirme l'excès en grains grossiers ;
- dans tous les sites, le coefficient d'angulosité (Kg) dépasse 1, prouve que le sédiment est bien trié dans l'ensemble ;
- le coefficient de courbure (Cc) varie entre 0,9 et 1,2 ;



Graphique 4: courbes granulométriques, fond du chenal domaine insulaire

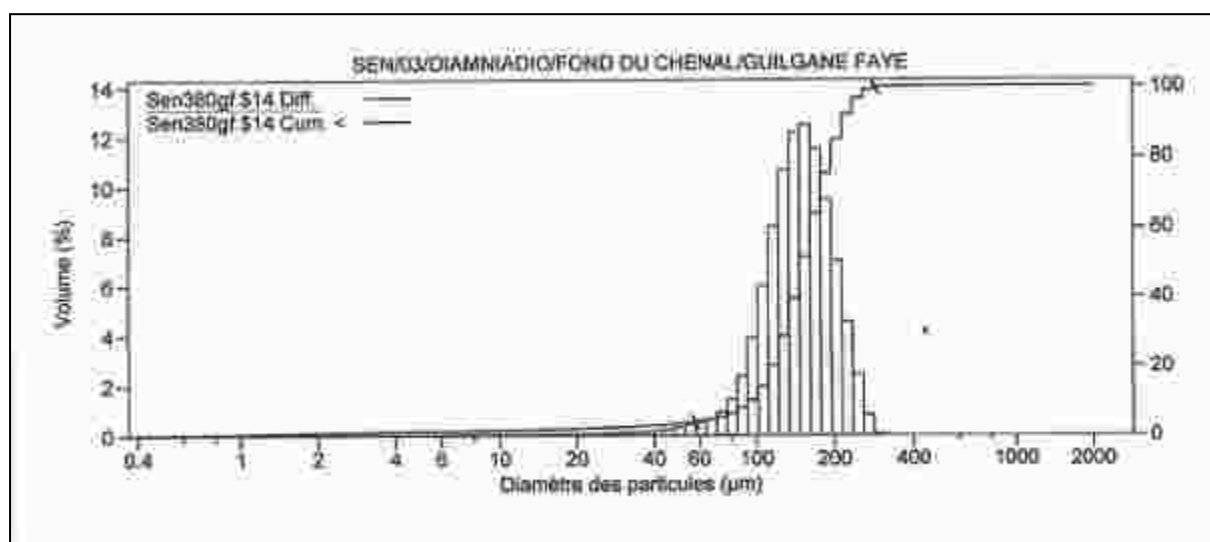
Tableau 54: des paramètres texturaux : Fond du chenal, domaine insulaire.

Paramètres	Sites		
	Diamniadio	Mar Lodji	Mar Fafaco
Indice de classement			
Trask, So	1,205	1,205	1,452
Krumbein, Qd	-0,269	-0,269	-0,538
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,467	-0,406	-0,832
Hazen, Cu	1,750	1,595	2,109
Moyenne			
Trask, M	136,100	216,900	250,550
Folk & Ward, Mz	2,903	2,230	2,140
Coefficient de dissymétrie			
Folk & Ward, Ski	-0,115	0,000	0,250
Coefficient d'acuité (Kurtosis)			
Skewness: S_{k-1}	0,527	0,826	-4,869
Kurtosis:	2,310	0,546	30,87
Ecart-type:	1,374	1,800	1, 917
Coefficient de courbure Cc	1,204	0,911	1,000

Tableau 55: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules du fond des chenaux (domaine insulaire).

Paramètres	Mar Lodji	Mar Fafaco	Diamniadio
Ecart-type:	1,374	1,800	1, 917
Skewness:	0,527	0,826	-4,869
Kurtosis:	2,310	0,546	30,87
Surface spécifique:	283,9 cm ² /ml	274,7 cm ² /ml	1,104cm ² /ml

La dissymétrie à gauche est attestée par un Skewness = - 4,869 et le Kurtosis 30,87 donne une distribution leptokurtique. Enfin, cette distribution leptokurtique témoigne d'une plus grande homogénéité de la taille des particules à Diamniadio.



Graphique 5: : courbe leptokurtique des sédiments à Diamniadio

6.2.1.2. Domaine externe.

L'échantillonnage s'est fait à la surface du fond du chenal et concerne le Saloum à Nawdourou, Latmingué, Keur Aladji Kharendère, Tchikat Abdoulaye Ba, Tchikat Boyenguel, Sassara, Diamal, Birkelane. Les autres chenaux sont ceux de Nianiandé, Ndimsiro, Thiabane, et de la rivière Néma. Par endroits, se rencontrent une vase argileuse, un sable fin noir contenant de petites coquilles complètes, un sable noir fin plus de la matière organique, un sable argileux coquillier, un sable argileux très fin, de la vase argileuse et même quelquefois, un sable grossier ogolien de Nawdourou à Diamal. Enfin, à Ndoss Jaraff, le long du Sine, la mare est entourée d'une végétation de Mbourndou (*Tamarix senegalensis*). D'après le chef de village, dans les années 1940, existait là, une mangrove. Nous avons trouvé des coquilles d'huîtres à 50cm de profondeur.

Toutes les sigmoïdes sont redressées sauf celles de Thiabane, de Diamal, et de Birkelane avec une prédominance des sables grossiers à l'exception celle de Ndiémou.

Dans l'observation des paramètres texturaux, nous constatons que :

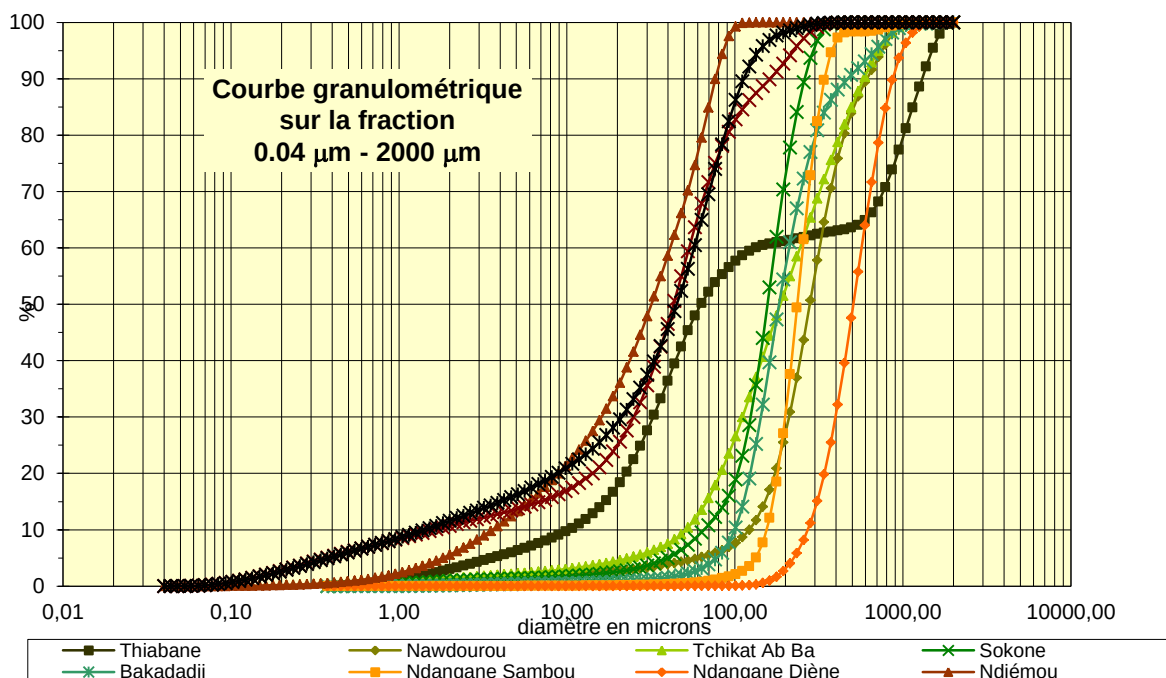
- le M_z ainsi que le $M\phi$ varient entre 1 et 5 devenant de plus en plus grands vers le continent avec des pics à Diamal et à Ndiémou ;
- le C_u variant entre 1 et 38 donne une granulométrie variée dans l'ensemble du secteur surtout à Thiabane 12,405, à Birkelane 34,625, à Diamal 38 ;
- les autres indices de classement, le So , le Si , le $\sigma\phi$, Q_d étant partout négatifs, sauf le So supérieur à 1, soulignent un bon classement à l'exception de Thiabane, de Keur Abdoulaye Ba, de Diamal, de Birkelane et de Ndiémou où le classement est mauvais ;
- l'excès en particules grossières est attesté par un S_{ki} partout négatif sauf à Thiabane et à Bakadadji.

Le stock sédimentaire n'est mal trié qu'à Ndangane Diène, Thiabane, et à Ndangane Sambou.

Le C_c variant entre 0,756 et 7,782 à Birkelane dénote que les grains sont bien arrondis.

Dans tous les sites, la dissymétrie est à gauche et la distribution leptokurtique, mais c'est seulement à Thiabane que la distribution est Platykurtique.

Enfin, la taille des particules est partout homogène sauf à la localité de Thiabane.



Graphique 6: courbes granulométriques, fond du chenal (domaine continental)

Tableau 56: des paramètres texturaux : fond du chenal, (site sur terre ferme)

Paramètres	Sites				
	Ndangane	Thiabane	Nawdourou	Thicatt A Ba	Diamal
Indice de classement					
Trask, So	1,386	5,617	1,453	1,921	2,315
Krumbein, Qd	-0,471	-2,490	-0,539	-0,942	-1,211
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,629	-2,785	-0,988	-1,427	-2,361
Hazen, Cu	2,109	12,405	2,542	4,884	38,000
Moyenne					
Trask, M	496,450	445,640	274,950	215,945	45,345
Folk & Ward, Mz	1,063	3,306	1,916	2,499	5,235
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	-0,118	0,236	-0,054	-0,094	-0,559
Coefficient de courbure Cc	1,000	0,756	1,000	1,098	5,878

Tableau 57: des paramètres texturaux : fond du chenal, domaine continental

Paramètres	Sites				
	Birkelane	Ndiémou	Sokone	Bakadadji	Ndangane Sambou
Indice de classement					
Trask, So	1,921	2,210	1,323	1,452	1,263
Krumbein, Qd	-0,942	-1,144	-0,403	-0,538	-0,337
Folk & Ward, σ_ϕ	-2,315	-1,697	-0,751	-0,872	-0,480
Hazen, Cu	34,625	11,302	2,542	2,109	1,595
Moyenne					
Trask, M	44,240	34,800	152,60	189,300	229,50
Folk & Ward, Mz	2,019	1,012	1,504	1,179	0,983
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	-0,369	-0,418	-0,237	0,193	-0,155
Coefficient de courbure Cc	7,782	1,750	1,451	1,000	1,097

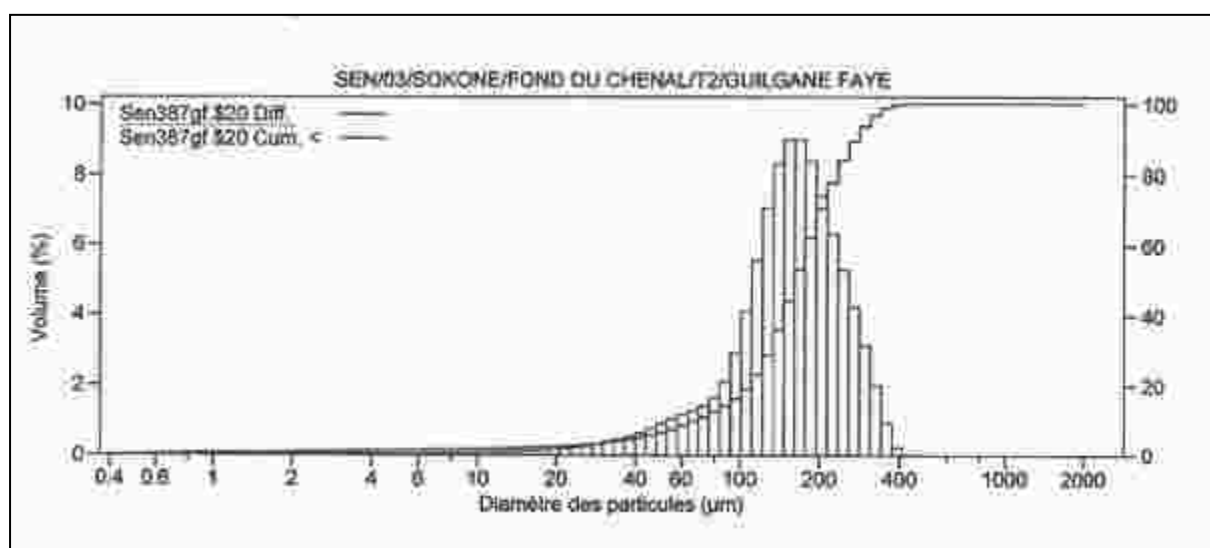
**Tableau 58: Volume statistique (géométrique) : Particules du fond des chenaux
(domaine insulaire)**

Paramètres	Sites			
	Mar Lodji	Mar Fafaco	Fayako	Djifère
Coefficient d'acuité (Kurtosis)	1,698	2,837	1,509	2,084
Ecart-type:	0,165	-1,212	0,049	0,263
Skewness:	0,190	4,219	1,640	-0,659
Kurtosis:	1,698	2,837	1,509	2,084
Surface spécifique:	283,9 cm ² /ml	274,7 cm ² /ml	1,104cm ² /ml	

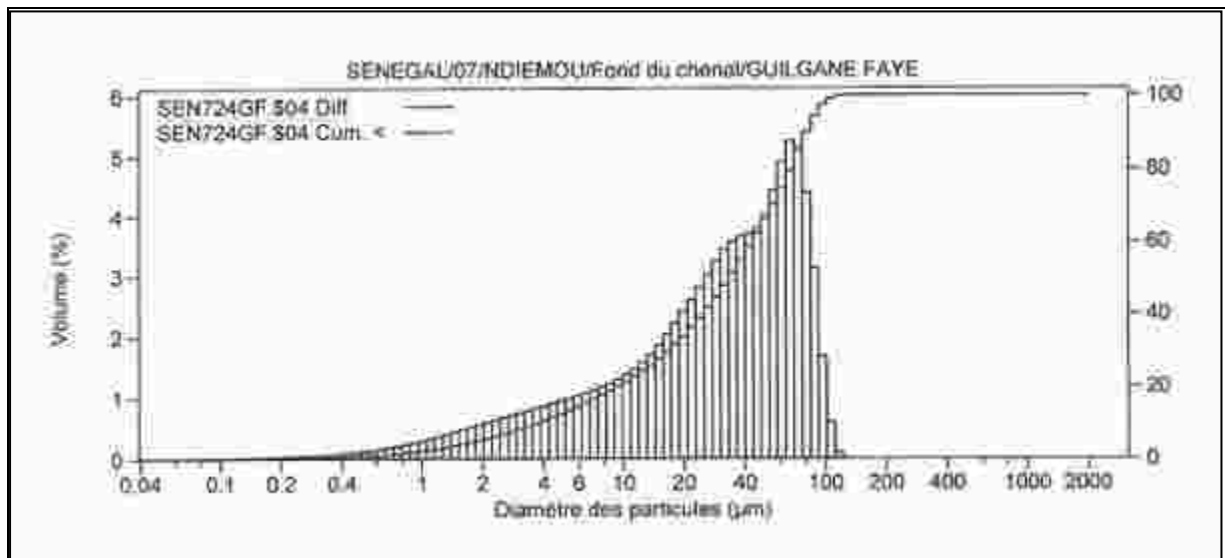
Dans les sites de Sokone, de Bakadadji, de Ndiémou, de Thiabane et de Ndangane Sambou, la dissymétrie est à gauche et la distribution est leptokurtique comme le montrent le graphique 39 pour le fond du chenal à Sokone.

**Tableau 59: Volume statistique (géométrique) : Particules du fond des chenaux
(domaine insulaire)**

Paramètres	Sites				
Coefficient d'acuité (Kurtosis)	Sokone*	Bakadadji*	Ndiémou*	Thiabane*	Ndangane Sambou
Ecart-type:	2,182	2,007	3,390	7,336	1,421
Skewness:	-3,286	-0,929	-1,215	-0,182	0,112
Kurtosis:	15,82	7,060	1,160	-0,881	2,798



Graphique 7: : courbe leptokurtique des sédiments du fond du chenal à Sokone



Graphique 8: courbes leptokurtiques des sédiments à Ndiémou:

Dans le domaine insulaire comme sur le continent, les valeurs prises par ces paramètres du fond du chenal, indiquent qu'il s'agit de sables bien classés dans un milieu peu agité.

Dans l'ensemble, la distribution est leptokurtique et la dissymétrie à gauche.

6.1.2. Les berges et les estrans

6.1.2.1. Localisation et caractérisation

Les berges accompagnent toutes les lignes principales de même que les bolongs, mais les estrans sont plus marqués le long du Saloum côté continent de Djifère à la confluence avec le marigot de Ndangane et le long du Sine surtout à Fayako où ils sont plus vastes.

6.1.2.2. Sédimentologie

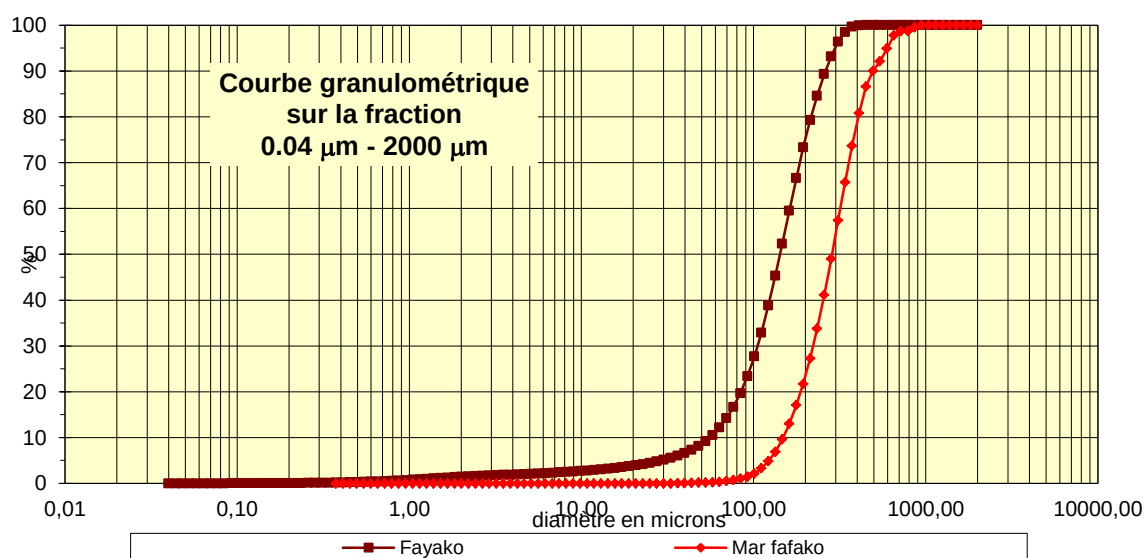
6.1.2.2.1. Domaine interne.

Leur stock sédimentaire de surface, est souvent composé de sable arraché au bas plateau du CT, d'argile et de la matière organique mélangée à des débris coquilliers.

Les échantillons proviennent des berges de Fayako et de Mar Lodji. A Fayako, il s'agit d'un sable marin fin, et à Mar Lodji d'un sable ogolien fin légèrement rubéfié.

Les courbes cumulatives sont des sigmoïdes bien redressées, avec la prédominance des sables grossiers de 26 % à plus de 70 %. Les valeurs du grain moyen (M_z) présentent un gradient très net et vont de 1,9 à 2,9 de Djifère à Fayako. Le $M\phi$ a évolué dans le même sens. A Djifère, la granulométrie est homogène attestée par un coefficient d'uniformité (C_u) de 1,922, tandis qu'elle est variée à Fayako où le coefficient d'uniformité (C_u) dépasse légèrement 3 où le littoral est moins agitée. Les valeurs du coefficient de dispersion (S_i , $\sigma\phi$) et de Q_d , partout négatives, indiquent que le matériel est bien trié, tandis que l'asymétrie souligne un excès en particules grossières (98,15 %) de sables grossiers à Djifère.

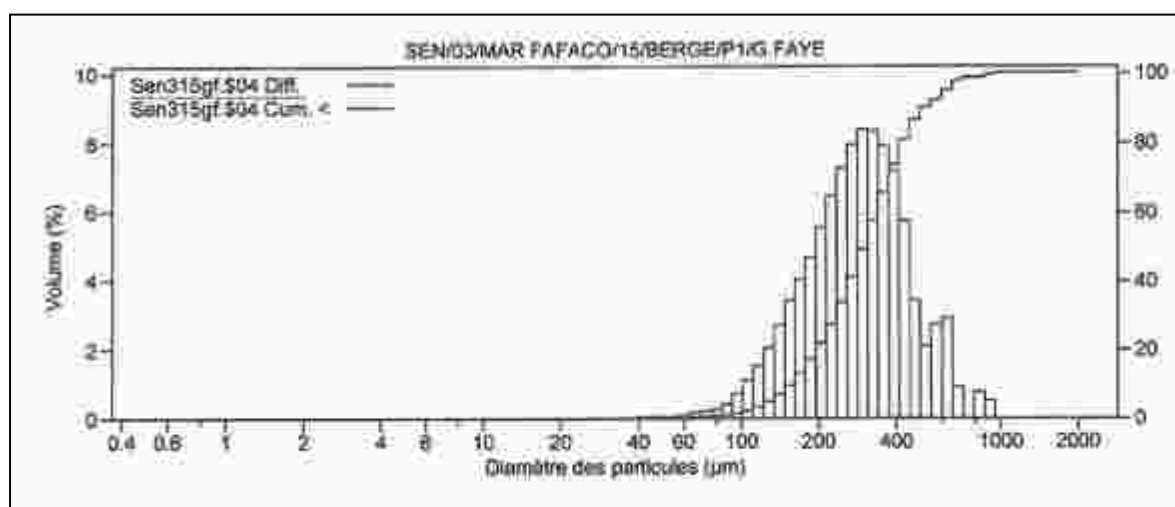
Dans les deux sites, le stock sédimentaire est bien trié dans l'ensemble, attesté par des coefficients d'angulosité (K_g) et des $K\phi$ voisins ou supérieurs à 1.



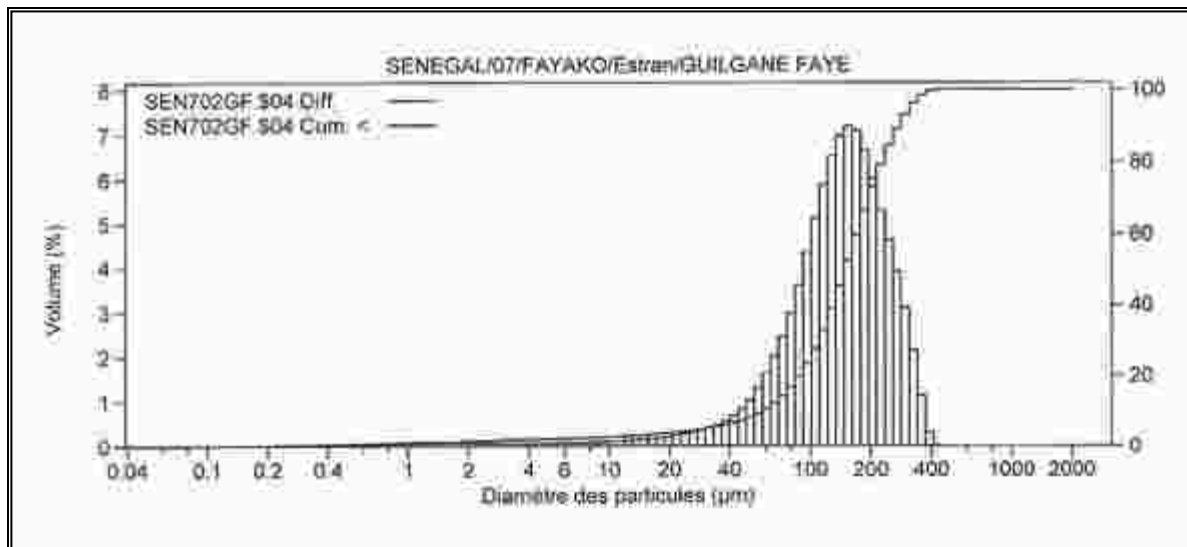
Graphique 9: courbes granulométriques, des berges et estrans domaine insulaire

Tableau 60: Paramètres texturaux des berges et estrans, domaine insulaire

Paramètres	Sites	
	Fayako	Mar Fafaco
Indices de classement		
Trask, So	1,386	1,452
Krumbein, Qd	- 0,471	- 0,538
Folk & Ward, σ_ϕ	- 0,683	- 0,914
Hazen, Cu	2,109	3,063
Moyenne		
Trask, M	283,650	143,145
Folk & Ward, Mz	1,916	2,992
Coefficient de dissymétrie		
Folk & Ward, Ski	- 0,130	- 0,263
Coefficient de courbure Cc	1,000	1,205



Graphique 10: courbes leptokurtiques des sédiments à Mar Fafaco*dissymétrie à gauche et leptokurtique.

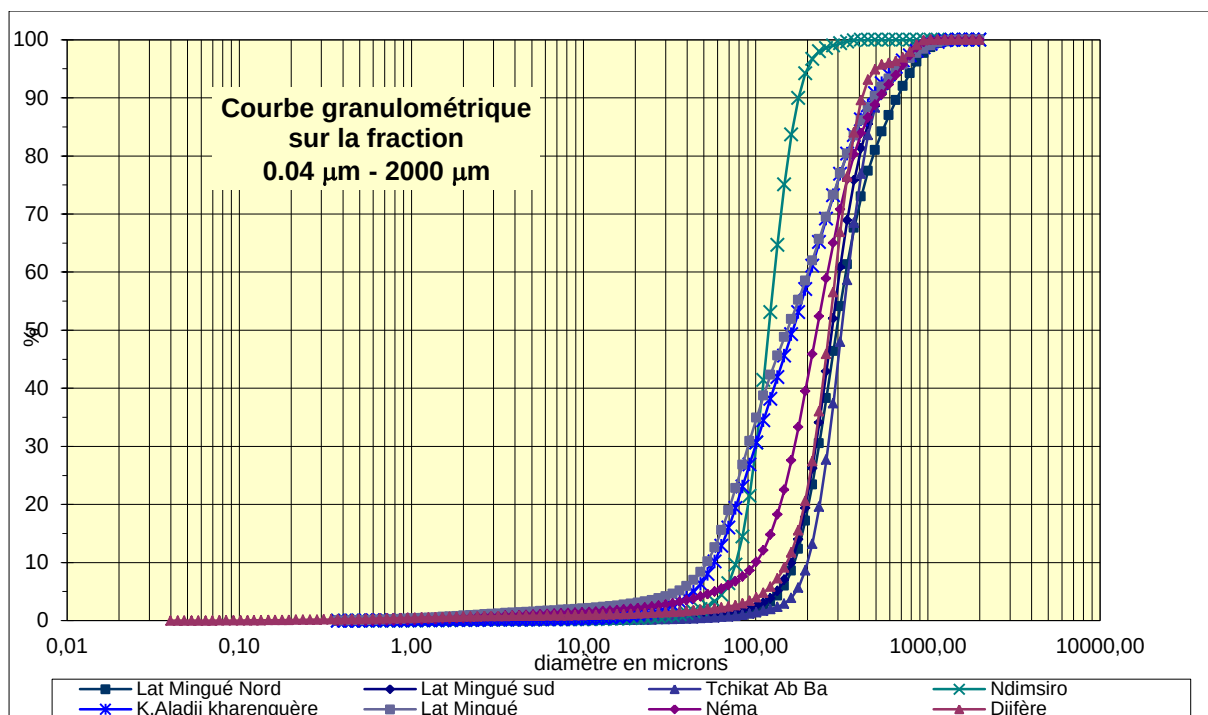


Graphique 11: courbes leptokurtiques des sédiments à Fayako

6.1.2.2.2. Domaine continental.

L'échantillonnage de surface des berges ou estrans de Nawdourou, Latmingué, Keur Aladji Kharendère, Tchikat Boyenguel, Tchikat Abdoulaye Ba, Diamal, Birkelane, Thiabane, Ndimsiro, Djifère, et à la rivière Néma, a révélé un faciès sableux fin blanc sans argileux et un horizon argileux sur toute la longueur de la tarière (plus de 1m) à Ndimsiro. Dans certaines localités, les berges jouxtent le bas plateau donnant ainsi un sable ogolien grossier légèrement rubéfié (Nawdourou).

Les courbes sigmoïdes cumulatives sont bien redressées dans l'ensemble, à l'exception de celles au droit de Latmingué, de Keur Aladji Kharendère et de la rivière Néma avec un fort pourcentage de sables grossiers, de 20 % à plus de 80 %. Cela s'explique par l'existence des mêmes conditions hydrodynamiques le long des berges. Le diamètre du grain moyen tourne autour de 2 à 3 à Ndimsiro au sud de l'île de Diamniadio.



Graphique 12: courbes des berges et estrans, (domaine continental)

Tableau 61: Paramètres texturaux des berges et estrans, (domaine continental)

Paramètres	Sites			
	Djirnda	Ndimsiro	Latmingué Sud	Latmingué Centre
Indices de classement				
Trask, So	1,263	1,205	1,323	1,921
Krumbein, Qd	-0,336	-0,269	-0,404	-0,942
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,539	-0,471	-0,606	-1,278
Inman, σ_ϕ	-0,596	-0,480	-0,670	-1,292
Hazen, Cu	1,922	1,594	1,750	4,052
Moyenne				
Trask, M	251,9	112,895	267,05	179,265
Folk & Ward, Mz	1,961	3,127	1,916	2,723
Coefficient de dissymétrie				
Folk & Ward, Ski	-0,062	0,071	0,111	0,026
Coefficient de courbure Cc	Pas de données			

Paramètres	Latmingué Nord	Latmingué Est *	Keur Abdoulaye Ba	Keur El Hadji Kharendère
Ecart-type:	1,698	2,837	1,509	2,084
Skewness:	0,165	-1,212	0,049	0,263
Kurtosis:	0,190	4,219	1,640	-0,659
Surface spécifique:	221,6 cm ² /ml	1,221 cm ² /ml	204,6 cm ² /ml	425 cm ² /ml

Tableau 62: Paramètres texturaux des berges et estrans, (domaine continental)

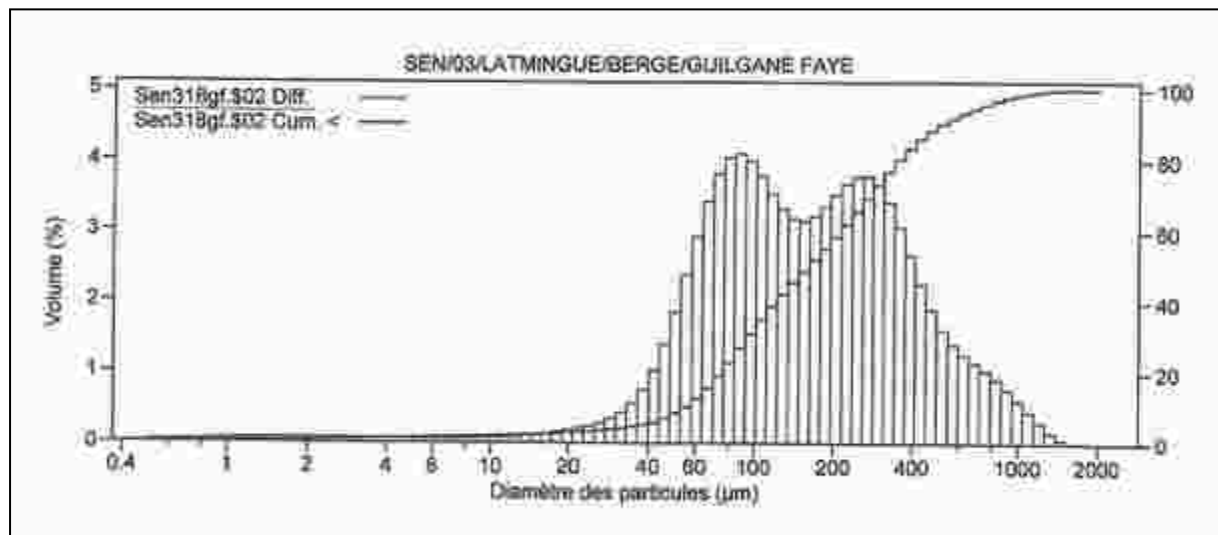
Tableau 63: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000 μ

Paramètres	Sites			
	Latmingué Est	Thicatt Abd Ba	Keur El H Kharendère	Rivière Néma
Indices de classement				
Trask, So	1,386	1,262	1,834	1,452
Krumbein, Qd	-0,471	-0,336	-0,875	-0,538
Folk & Ward, $\square\square$	-0,740	-0,538	-1,211	-0,875
Inman, $\square\square$	-0,758	-0,575	-1,176	-0,988
Hazen, Cu	1,921	1,750	3,691	2,789
Moyenne				
Trask, M	311,4	303,6	182,995	228,200
Folk & Ward, Mz	1,781	1,691	2,633	2,185
Coefficient de dissymétrie				
Folk & Ward, Ski	0,124	0,034	0,000	-0,017
Coefficient de courbure Cc	Pas de données			

Partout, les valeurs du Kurtosis sont inférieures à 2,5 sauf dans les 3 sites : Ndimsiro, Latmingué, Keur A Kharendère ; ce qui prouve une granulométrie homogène dans les cinq autres secteurs. Les autres indices S_i , $\sigma\sigma$, et Qd négatifs, sauf le So, donnent un bon classement des sédiments.

Mais, l'excès en particules grossières n'est confirmé que dans deux sites ; Mar Fafaco et Néma et le tri est bien fait sauf à Latmingué, à Keur A Kharendère et à Mar Fafaco où le Kg est négatif.

Dans le domaine insulaire comme sur le continent, le long des estrans et des berges, la distribution est leptokurtique avec un Kurtosis variant entre 39,04 et 0,307 et toute la dissymétrie est à gauche, attestant de l'homogénéité des sédiments.



Graphique 13: courbe leptokurtique des sédiments à Latmingué Est

L'analyse granulométrique des sédiments superficiels des berges et estrans, montre que ces unités sont tapissées de sables fins, généralement bien à très bien classés. Ces sables se déplacent, essentiellement, par suspension graduée. Ils sont déposés dans un milieu peu agité avec évacuation des particules fines vers les cordons.

Les courbes cumulatives sigmoïdes des sédiments ont, en général, la forme d'un S à forte pente, bien redressée et bien régulière. Cela dénote un stock sédimentaire homogène et des conditions d'énergie adaptées à la charge transportée.

6.1.3. Les bancs sableux.

6.1.3.1. Localisation et caractérisation.

Les bancs sableux sont des espaces composés de corps sédimentaires hétérogènes, surélevés par rapport à un fond aquatique, salé ou d'eau douce, visible au-dessus ou juste en dessous de la surface (Chaumillon, 2005).

Il s'agit d'accumulations de sable ou de vase, formées à des endroits du delta ou en plein chenal, dans les parties moins profondes. Mais leur position est variable, les bancs sont souvent mobiles au gré du vent et surtout des courants marins.

Les bancs de sable ont fait l'objet de multiples propositions de classifications qui sont fondées sur leur localisation et leur morphologie ainsi que les forçages hydrodynamiques qui leur ont mis en place (Amos et King, 1984).

La plus récente classification, celle de Dyer et Huntley (1999), distingue trois types de bancs sableux. Il s'agit des bancs de plateforme ouverte dits de type 1, des bancs d'embouchure ou de type 2 et des bancs associés aux caps ou type 3.

« Les bancs de plateforme ouverte sont des structures sédimentaires dont la direction d'allongement est inclinée par rapport aux courants. Ils présentent une section qui est asymétrique et migrent dans la direction de leur flanc le plus incliné. Ils sont formés autour d'un « noyau » sédimentaire ancien et atteignent 80 km de long, 13 km de large en moyenne et des dizaines de m en hauteur (Chaumillon, 2005).

Les bancs d'embouchures intègrent les bancs d'estuaires sensu stricto (embouchures larges) ou 'tidal sand ridges' ou type 2 A, allongés et parallèles aux courants qui se déplacent en direction de leur flanc le moins incliné et les bancs d'embouchures tidales et estuaires méso à micro tidaux ou type 2 B qui correspondent aux deltas tidaux. Les bancs associés aux caps incluent les bancs de sillage ou type 3 A. (Pingree et Maddock, 1977 ; Pingree, 1978 ; Pingree et Maddock, 1979) et les bancs alternés ou bancs associés à des promontoires côtiers en recul ou type 3 B (Swift et Sears, 1974). Désignés aussi sous le terme de bancs en drapeau ou « banner banks », ces bancs formés au voisinage des caps dans des environnements tidaux sableux s'échelonnent de 5 à 30 km et des largeurs de 1 à 2 km ». Même si ces bancs renferment des différences morphologiques ou de lieu de formation, ils sont formés par le même mécanisme. Ainsi, le principe fondamental de formation des différents types de bancs sableux réside dans le fait qu'ils sont des lieux de convergence sédimentaire, au

niveau de boucles de transport fermées, à cause de leur position entre des domaines où les résiduelles de transport sédimentaires sont opposées (Caston et Stride, 1970, Caston, 1972, Dyer et Huntley, 1999).

Ils s'allongent dans la direction des courants dominants. Concernant la Petite Côte, ces bancs sont de type 2 A et s'orientent Nord-sud selon le sens de la dérive littorale.

Sakho I (2011) citant Barusseau, (1980), explique que « le déficit sédimentaire, enregistré sur les secteurs sud de Dakar (Petite Côte) est essentiellement dû à la présence des structures bathymétriques ». Selon le chercheur, le bilan sédimentaire de la Petite Côte se résume alors à un schéma relativement simple qui décrit des zones septentrionales en érosion alimentant des zones méridionales en accrétion. Cette situation se traduit souvent par la formation de flèches littorales soit adossées à des caps rocheux, soit bordées de systèmes fluvio-lagunaires (Barusseau J P, 1980) ou de systèmes estuariens (flèche de Sangomar et de Somone) ».

A cela, s'ajoute la présence de bancs de sable surtout entre la flèche de Sangomar et le littoral de Niodior (conf carte 31page 291). Ils sont nombreux dans le delta du Saloum et dans certains bolongs. Sur la ligne du Saloum, les bancs de sable orienté E-W, se dressent à partir de la latitude 13°58'300''N. Se rencontrent d'autres, couverts de vase fine à partir du point 14°09'590''N/16°17'546''W de part et d'autre du chenal en direction de l'Est. Ils évoluent en tanne nu de couleur noire et épousent la forme des méandres jusqu'au point 14°09'714''N/16°16'797''W. A partir de la latitude 14°09'742''N, les bancs de sable se succèdent entrecoupés de minces filets d'eau, jusqu'au quai de Kaolack.

Le long du Diomboss, des poches de bancs de sable sur plus de 1 km, parallèles au chenal d'orientation E-W, se rencontrent sur la rive ouest du bolong de Sokone au Nord du village de Limane et sur la rive sud à la latitude 13°53'283''N. Ils se remarquent aussi au Sud de Bambougar sous forme de bancs sablo-coquilliers 13°53'237''N, au Nord de Badokh et dans le triangle formé par le chenal et la vasière à mangrove.

A partir de la latitude 13°52'875''N, ils s'orientent E-W jusqu'à la ligne 13°53'875''N où ils sont interrompus par un cordon à *Adansonia digitata*, mais continuent sur la rive opposée de 13°53'102''N à 13°53'190''N.

Ils sont entrecoupés par le chenal et visibles à marée basse de la ligne 13°53'490''N à la ligne 13°53'554''N. Au droit du village saisonnier de Basil, 13°53'995''N/16°26'995''W, les bancs s'alignent de l'autre côté du bolong sur une longue distance de la ligne 13°54'056''N à la ligne 13°53'990''N sur la rive sud. Le dernier banc recensé sur la rive nord 13°52'689''N, évolue en flèche mobile vers l'Ouest. Sur la ligne du Bandiala, un seul banc très vaste a été détecté, découvert à marée basse à l'Ouest de Missirah.

Les bancs sont presque absents sur la ligne du Léba. Le long du Sine, les bancs accompagnent la ria et se dressant au niveau des méandres, devenant de plus en plus vastes et nombreux à l'approche de Fatick.

6.1.3.2. Sédimentologie

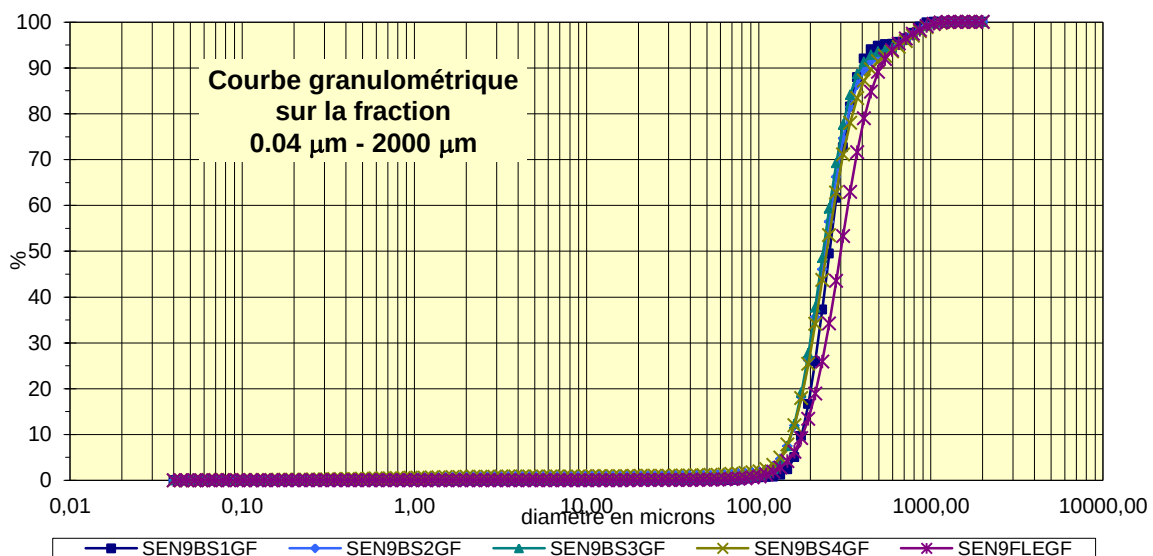
Ces unités sont surtout remarquables à Bakadadji et à Toubacouta. Elles révèlent un faciès de tanne nu en plein chenal et découvertes à marée basse. En surface, elles comportent un sable noir fin contenant des débris de coquilles.

Elles se rencontrent aussi au large de Dionewar et de Niodior et découvertes à marée basse. Elles sont constituées de sable grossier contenant des débris de coquilles.

Au large des îles en front de mer, le faciès sédimentaire est un sable marin associé à des débris coquilliers, tandis qu'au long des bolongs, les sédiments souvent fins, argileux résultant de tannes nus enserrés entre les chenaux.

Les sigmoïdes cumulatives sont presque à la verticale avec une longue queue dans la partie grossière avec un fort pourcentage de sables grossiers, de 20 % à plus de 80 %. Cela s'explique par la force des mêmes conditions hydrodynamiques qui sont responsables de la mise en place de ces cordons. Le diamètre du grain moyen tourne autour de 2 μm sauf sur la flèche de Dionewar, ce qui prouve une granulométrie homogène dans ces secteurs.

Les autres indices S_i , $\sigma\phi$, et Q_d négatifs sauf, le S_o donnent un bon classement des sédiments. Mais l'excès en particules grossières par le coefficient d'Inman est confirmé dans tous les sites. Le tri est bien fait sur tous les bancs de sable attesté par un K_g partout positif.



Graphique 14: courbes granulométriques des bancs sableux et flèche

Le Kurtosis partout positif, prouve une distribution leptokurtique à la laquelle s'ajoute une dissymétrie à gauche attestée par un Skewness négatif, sauf à Djifère et à Fandiong au sud de Niodior.

Tableau 64: paramètres texturaux des bancs sableux et flèche

Paramètres	Sites				
	B S 1 Djifère	B S. 2 Niodior	B. S. 3 Fandiong I	B.S.4 Fandiong II	Flèche/ Dionewar
Indice de classement					
Trask, So	1,263	1,323	1,263	1,323	1,323
Krumbein, Qd	-0,336	-0,404	-0,337	-0,404	-0,404
Imann σ_ϕ	-0,471	-0,538	-0,471	-0,605	-0,538
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,480	-0,616	-0,562	-0,649	-0,575
Hazen, Cu	1,452	1,749	1,749	1,749	1,751
Moyenne					
Trask, M	251,900	243,200	229,450	243,200	293,150
Folk & Ward, Mz	2,006	2,095	2,140	2,050	1,826
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	0,013	0,146	0,053	0,202	0,033
Coefficient de courbure Cc	1,001	1,000	1,000	1,000	1,001

B S = banc sableux

Tableau 65: : Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000 μ m Diamètre des particules des bancs sableux.

Paramètres	Djifère	Niodior	Fandiong I	Fandiong II	Flèche de Dionewar
Ecart-type:	1,444	2,032	1,548	2,054	1,541
Skewness:	0,849	-5,105	0,58	-4,845	-0,00287
Kurtosis:	2,147	45,59	2,697	42,61	1,286
Surface spécifique:	240,1 cm ² /ml	1543 cm ² /ml	267,6 cm ² /ml	1506 cm ² /ml	218,7 cm ² /ml

En définitive, l'analyse granulométrique des sédiments superficiels des bancs sableux, montre que ces unités sont tapissées de sables grossiers marins, généralement bien à très bien classés

et homogènes. Ils sont déposés dans un milieu agité avec évacuation des particules fines vers les estrans par les vagues.

6.1.4. Les vasières à mangrove

6.1.4.1. Répartition

Le mot « mangrove » est un terme d'origine malaise qui veut dire vasière intertidale.

La mangrove, dont le nom est dérivé de « manglier » - ancien terme pour palétuvier - est d'abord et longtemps définie comme une espèce d'arbre (Marie-Christine Cormier-Salem 1999).

Petit M (1990), la définit comme « des ligneux arborescents qui sont des espèces halophiles exigeant des eaux chaudes marines (température supérieure à 20° C) ».

Au point de vue paléoenvironnement, la mangrove est une végétation très ancienne ; selon Guiral D et *al* (1999) citant Macnae (1968) « la mangrove, ou « mangal » réapparaît au début de l'Oligocène ; il n'existe en effet, aucune continuité phylogénétique entre les formations de gymnospermes du Carbonifère (Cordaitales) et les mangroves modernes (post-Éocène) à angiospermes. Elle est contemporaine des forêts tropicales humides sempervirentes, mais contrairement à ces formations, elle se caractérise par une faible diversité floristique ».

D'autres chercheurs comme (Marius C 1985). la définissent « comme étant l'ensemble des formations végétales arborescentes ou buissonnantes, qui colonisent les atterrissements intertidaux ou fluviaux des côtes tropicales » Mais pour Leruse (2000), « la mangrove est l'ensemble des formations végétales soumises à l'action biquotidienne des marées ; colonisant les estuaires, deltas et baies des zones tropicales (forêts de palétuviers proprement dites) des espaces découverts étroitement imbriqués avec elles et toutes les zones périphériques où les essences typiques de la mangrove sont mélangées à d'autres essences ».

La mangrove est définie par Blasco (1991) comme une forêt de palétuviers se développant dans la zone de balancement des marées des régions littorales intertropicales, pouvant se maintenir localement jusqu'à 32° Nord et 28° Sud sous l'effet de courants marins chauds ».

La conférence de Yangambi, tenue au Zaïre en 1956, classe la mangrove dans les formations forestières édaphiques (Schenell, 1970). Ce dernier souligne que « les écosystèmes mangrove se rencontrent dans le monde entre le tropique du Cancer (19e parallèle Nord) et celui de Capricorne (10e parallèle Sud) Schenell, (1971).

Sakho I (2011) souligne que « les mangroves sont présentes sur quatre grands domaines : le domaine atlantique (Floride, Guyane, Sénégal, Cameroun), le domaine pacifique oriental (Californie, Mexique), le domaine indopacifique central (Indonésie, Malaisie, Papouasie Nouvelle Guinée, Thaïlande) et le domaine indopacifique occidental (Afrique de l'Est, Mer

Rouge, Madagascar, Inde occidentale) ». Selon Tomlinson (1986) « il existe 34 espèces végétales de mangrove dites exclusives appartenant à 9 genres et 4 familles et 20 espèces dites associées appartenant à 11 genres et 10 familles.

Toutefois, les deux grandes familles de mangrove les plus répandues sont les Avicenniacees et les Rhizophoracees. Les espèces sont appelées palétuviers ».

Sur le continent africain et à Madagascar, pour Guiral D et al (1999) « la mangrove borde la côte occidentale du Nord de l'Angola jusqu'à Saint Louis, au Sénégal, à 16°20' de latitude N, où elle est plutôt à l'état de relique et toute la côte Ouest de l'Afrique du Sud en est dépourvue, à cause du courant froid de Benguela. Sur la côte orientale, presque toute la mangrove est concentrée au Sud de l'Equateur et elle déborde un peu au Sud du Tropique du Capricorne.

A Madagascar, la mangrove est strictement localisée sur toute la côte occidentale ».

Au point de vue végétation, l'équipe de Guiral D et al (1999) a proposé une répartition de la mangrove ouest africaine qui « est essentiellement représentée par 6 espèces, dont 3 *Rhizophoras* : *Rh. racemosa*, *Rh. mangle*, *Rh. harrissonii* un seul *Avicennia* : *Av. africana* et 2 *Combrétacées* : *laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus*. Il est à noter aussi qu'aucune espèce de la mangrove ouest-africaine ne se retrouve dans la riche mangrove indopacifique dont voici quelques représentants : *Rhizophora mucronata*, *Rh. apiculata*, *Avicennia marina*, *Av. azba*, *Av. officinalis*, *Bruguiera cylindrea*, *Ceriops decandra*, *Lumnitzera racemosa*, *Sonneratia azba*, *Nypa fruticans* . . .

En ce qui concerne les *Avicennias*, c'est Moldenke qui en 1960 a identifié *Av. africana* sur la côte Ouest africaine pour le différencier d'*Av nitida* représenté uniquement en Amérique, associé à *AV germinaus* ».

Ils se développent dans les zones où la température minimale est de 20° C et où la salinité est de 65‰ (FAO, 1985). La surface des mangroves est estimée en Afrique et Madagascar à 3.402.000 ha, soit 20 % du total mondial (1988) et 330.000 ha pour le Sénégal (Isme-Itto-Comar, 1992 in ISME Atlas de la Mangrove).

Du sud du Sénégal au sud de la Sierra Léone, la mangrove s'étend sur 1.000 km (Diop & Ba, 1993), couvrant ainsi une superficie de plus de 1.500.000 ha.

Les mangroves du Sénégal sont situées entre 12°20 et 16°20 de latitude nord et 16°20 et 16°30 de longitude ouest. Selon Diop & al (1993), les évaluations récentes font état d'une extension inférieure à 300.000 ha. Ce sont des mangroves d'estuaires et de lagunes dont les plus étendues sont situées aux débouchées des grands fleuves que sont le Sénégal, la Casamance et la ria du Saloum ».

Selon Véga C (2000), Spalding et *al* (1997) estiment, qu'elle colonise dans ces régions près de 75 % des côtes et deltas, avec une surface pouvant être évaluée à 182.000 km² ».

Les facteurs conditionnant leur développement sont le climat à travers la pluviométrie et la température (elle doit être supérieure à 16°C pour le mois le plus froid), la salinité, l'étendue du domaine intertidal, une côte non rocheuse et protégée de la houle (Lebigre et *al.* 1989 ; Guiral, 1999), » cité par Sakho I (2011).

Blasco (1991), résume les lois physiques régissant le fonctionnement des mangroves :

«- régularité du régime hydrique : marée, fleuve, précipitations ; stabilité du substrat : géomorphologie, tectonique, sédimentation, anthropisation du bassin versant ; approvisionnement en nutriments : apports marins, fluviaux et éoliens ».

La zonation végétale (fig.45) et les processus pédogénétiques particuliers à l'écosystème de mangrove sont inhérents à son fonctionnement. Ce dernier selon Sakho I (2011) « se manifeste par un ensemble d'interactions physiques, chimiques et biologiques dont l'ampleur dépend du contexte climatique.



Figure 42: zonation végétale de la mangrove sous climat équatorial (Lebigre, 2004) cité par Sakho I (2011)

Il s'agit de la salinité (Marius et Lucas 1982), des conditions d'oxydo-réduction et des teneurs du substrat en sulfures (Nickerson et Thibodeau, 1985), de la durée d'inondation (Mckee, 1993) et du taux de sédimentation ».

Le tableau 75, suivant proposé par Tomlinson, (1986) donne les différentes familles et leurs subdivisions.

Tableau 66: familles et genres de mangrove dans le monde.

Family	Genus, number of species	Common name
Acanthaceae, Avicenniaceae or Verbenaceae (family allocation disputed)	<i>Avicennia</i> , 9	Black mangrove
Combretaceae	<i>Conocarpus</i> , 1; <i>Laguncularia</i> , 11; <i>Lumnitzera</i> , 2	Buttonwood, White mangrove
Arecaceae	<i>Nypa</i> , 1	Mangrove palm
Rhizophoraceae	<i>Bruguiera</i> , 6; <i>Ceriops</i> , 2; <i>Kandelia</i> , 1; <i>Rhizophora</i> , 8	Red mangrove
Lythraceae	<i>Sonneratia</i> , 5	Mangrove apple
Acanthaceae	<i>Acanthus</i> , 1; <i>Bravaisia</i> , 2	
Bombacaceae	<i>Camptostemon</i> , 2	
Cyperaceae	<i>Fimbristylis</i> , 1	
Euphorbiaceae	<i>Excoecaria</i> , 2	
Lecythidaceae	<i>Barringtonia</i> , 6	
Lythraceae	<i>Pemphis</i> , 1	
Meliaceae	<i>Xylocarpus</i> , 2	
Myrsinaceae	<i>Aegiceras</i> , 2	
Myrtaceae	<i>Osbornia</i> , 1	
Pellicieraceae	<i>Pelliciera</i> , 1	
Plumbaginaceae	<i>Aegialitis</i> , 2	
Pteridaceae	<i>Acrostichum</i> , 3	
Rubiaceae	<i>Scyphiphora</i> , 1	
Sterculiaceae	<i>Heritiera</i> , 3	

Tomlinson, (1986)

La mangrove du Sénégal couvre une superficie de 1287 km² (UNEP-WCMC, 2007).

Elle est principalement présente dans le Saloum, au Sud au niveau de l'estuaire du fleuve Casamance et sur la Petite Côte.

Sept des 8 espèces de mangrove présentes dans la sous-région y sont rencontrées (*Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harrissonii*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Acrostichum aureum* (UNEP-WCMC, 2007)).

Dans le Saloum, les espèces dominantes sont constituées de *Rhizophora racemosa*, *R. harrissonii*, *R. mangle*, *Avicennia africana*, *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus*. « De l'estuaire quotidiennement submergé à la terrasse existent trois espèces de Rhizophoracées : *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harrissonii* et *Rhizophora mangle* (Marius, 1979) ».

D'abord, du point de vue paléo environnement, au Sénégal, Niang I Diop (1995) citant Lezine A M (1987) ; Hooghiemsta (1988), souligne l'existence « de deux grandes périodes d'extension de la mangrove à l'Holocène : la première, entre 9500 et 8500 ans BP (Tchadien) correspondant à une phase de stabilisation de niveau marin qui fait suite à une période de, rapide remontée du niveau marin (=1cm par an).

La deuxième entre 6000 et 4500 ans BP (Nouakchottien) se situe lors d'une période de haut niveau marin qui s'est maintenue pendant environ 1000 ans »

Ralph M D N (2008) reprend les idées de certains spécialistes en acceptant « qu'au Sénégal, le delta du Saloum constitue la région la plus septentrionale occupée par une haute mangrove depuis 1976 et 1978 dans l'Ouest de l'Afrique [Dupuy et Verschuren, 1982] cités par Ndour (2005). Giffard (1974) cité par Ndour N (2005), confirme la disparition des reliques de la végétation de mangrove signalée par Chaudreau (1916) en Mauritanie mais, qui sont encore signalés dans le delta du fleuve Sénégal où Chambonneau avait noté en 1677 la présence d'une épaisse et haute mangrove [Chamard et *al.* 1999]. Trochain (1940) a par ailleurs témoigné de la disparition de la végétation de mangrove des cuvettes du 'Ndiael, par la découverte de pneumatophores subfossiles, confirmant ainsi l'existence de mangrove notée par Chambonneau sur le fleuve Sénégal (Ndour, 2005 ».

Mais, dans certaines régions, c'est la mise en place de cordons littoraux protégeant des lagunes, qui va favoriser l'existence d'une mangrove. Cette végétation pour se développer, a besoin de conditions particulières comme la température de l'air et les zones littorales protégées. Selon Guiral D et *al* (1999) « dans le domaine littoral intertropical, la mangrove occupe la zone directement soumise aux influences des marées et correspond ainsi aux étages supra littoral, médiolittoral et à la partie supérieure de l'étage infralittoral par rapport au système de zonation classiquement adopté en milieu marin. Elle est colonisée par des palétuviers, ceux-ci constituant une formation végétale amphibie dénommée « mangal » par Macnae (1968) et formant, d'une manière plus générale, un écosystème spécifique. Sous les

tropiques, la mangrove représente 60 % à 75 % de la végétation côtière et correspond ainsi à l'un des écosystèmes majeurs de la biosphère (Por et Dor, 1984) ».

Ainsi, Ralph M D N (2008) souligne que : « le développement de la mangrove est tributaire de la température de l'air (température moyenne du mois le plus froid supérieure à 16° C) et la présence de zones littorales protégées et peu profondes. Amarasinghe (1992) cité par Véga C (2000) a montré que la position des écotones entre milieu marin et terrestre de l'écosystème mangrove fait qu'il est soumis à de nombreux facteurs limitant leur développement, tels que : la durée d'exondation et d'inondation, la salinité des eaux et l'hydromorphie du substrat.

Dans ces conditions de vie difficiles, seules les espèces ayant développé des mécanismes d'adaptation divers (racines échasses, pneumatophores, mécanismes de régulation du sel), ont pu subsister (Cantera et Arnaud, 1997) cités par Véga C (2000).

Cela est confirmé par Niang Diop I (1995) qui souligne « les premières traces d'installation de la mangrove sont observées après la mise en place de cordons littoraux qui vont isoler des zones lagunaires dans lesquelles va s'effectuer un comblement de l'estuaire, à partir de 2000 ans BP dans l'estuaire du Saloum (Ausseil-Badié et *al* 1991) et à partir de 3000 ans BP dans l'estuaire de la Casamance (Kalck 1978) ».

Mais dans l'ensemble, cette végétation a connu une dynamique régressive et elle est inégalement répartie dans le monde, au niveau national et dans l'espace insulaire du Saloum.

Plusieurs facteurs entrent en jeu dans la formation et la progradation des marais à mangrove. Parmi lesquels, nous pouvons citer la houle, une zone lagunaire pour servir d'abri, un substratum vaseux ou sableux épais intervient directement dans la nature des palétuviers.

Cela peut être confirmé par les idées de Vincent Turmine (juin 2001) qui souligne que « le rôle principal de la végétation dans le phénomène de progradation des vasières réside dans sa capacité d'accélération de la maturation pédologique des dépôts sédimentaires et de leur cohésion face aux dynamiques marines ou estuariennes ».

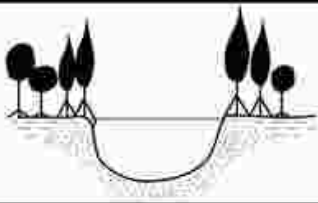
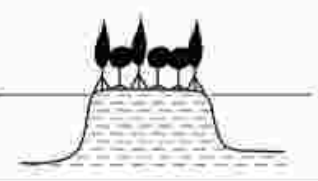
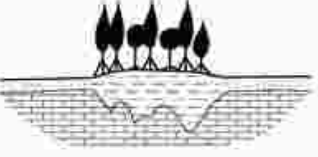
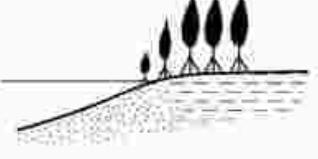
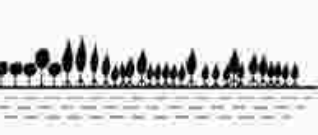
Dans le Saloum se rencontrent deux principales espèces qui se distinguent par le système racinaire, par l'emplacement, par la nature du substratum, par la durée de la submersion et par la morphologie. Les *Avicennia* ont un système racinaire formé de pneumatophores, contrairement aux *Rhizophora* qui possèdent un chevelu dense. Et selon Bertrand 1993 cité par Turmine Vincent (juin 2001) « les *Rhizophora* favorisent donc le développement d'horizons tourbeux qui pourront observer plusieurs degrés de maturation selon les rythmes d'inondation et l'épaisseur de l'accumulation ».

Par ailleurs, le rôle joué par la dérive littorale induite la houle du NW peut se sentir par la présence d'un substratum sableux légèrement argileux ; cela va favoriser certaines espèces aux dépens d'autres ; c'est ce qu'explique Turmine Vincent (juin 2001) par ces lignes qui suivent : « en effet, la part plus ou moins grande de sables au sein d'un sol argileux, détermine la texture de la vasière. Ainsi, la présence de sables qui caractérisent les apports marins dus aux houles plus fortes, rend la texture hétérogène. Cette différenciation texturale intervient donc dans le développement des palétuviers, mais aussi, dans la maturation pédologique. Dans le premier cas, les plantules, ayant un besoin en eau saumâtre, sont adaptées aux sols argileux homogènes, alors que les sols sableux favorisant le « filtrage », la déshydratation est moins favorable à leur développement. Cela conditionne alors la distribution des espèces avec notamment, selon Diop 1986, qui ajoute :

- « - des *Rhizophora* au sein des vasières très profondes et homogènes,
- des *Avicennia africana* sur les vasières homogènes moins profondes,
- des *Avicennia nitida* au sein des vasières à texture plus hétérogène,
- une flore à psammophile tels que *Sesuvium portulacastrum* et *Ipomea pescaprae* mais également les quelques espèces combrétacées, sur les sols sableux ».

Le tableau 76, illustre la typologie des formations de mangrove selon leur physionomie et leur composition floristique.

Tableau 67: typologie des formations de mangrove selon leur physionomie et leur composition floristique.

Type	Schéma	Caractéristiques
Riverine		Mangroves de rives d'estuaire. Ce sont les palétuviers les plus grands (20-30m pour les <i>Rhizophora</i>).
Basin		Zone interne des larges marais à mangrove. Composition floristique mixte et de taille moyenne (5-10 m).
Overwash		Petites îles fourbeuses occasionnellement inondées. Population mixte mais dominée par les <i>Rhizophora</i> de taille moyenne.
Hammock		Mangrove isolée reposant sur des dépôts de mangrove qui ont dérivé au gré des courants et qui se sont fixés dans des dépressions au sein de la roche en place. Spécifique aux Everglades.
Fringe		Frange littorale inondée lors des marées de vives eaux. Population essentiellement composée de <i>Rhizophora</i> de taille réduite (2-5 m).
Scrub		Large étendue de mangrove dominée par des <i>Rhizophora</i> nains (< 1,5 m) qui se développent sur un sol pauvre en nutriments


Rhizophora


Avicennia

V. Turmine, 2001 (à partir de Bertrand F., 1993 ; Woodroffe C., 1998)

Turmine V (2001)

Ces mangroves sont divisées en genres et en différentes familles mentionnés dans les tableaux suivants :

Tableau 68: familles genres et nombre d'espèces dominantes (Turmine V 2001)

Familles	Genres	Nombre d'espèces
Avicenniaceae	<i>Nypa</i>	1
Combretaceae	<i>Laguncularia</i>	11
	<i>Lumnitzera</i>	2
Rhizophoraceae	<i>Avicennia</i>	9
Arecaceae	<i>Bruguiera</i>	6
	<i>Ceriops</i>	2
	<i>Kandelia</i>	1
	<i>Rhizophora</i>	8
Sonneratiaceae	<i>Sonneratia</i>	5

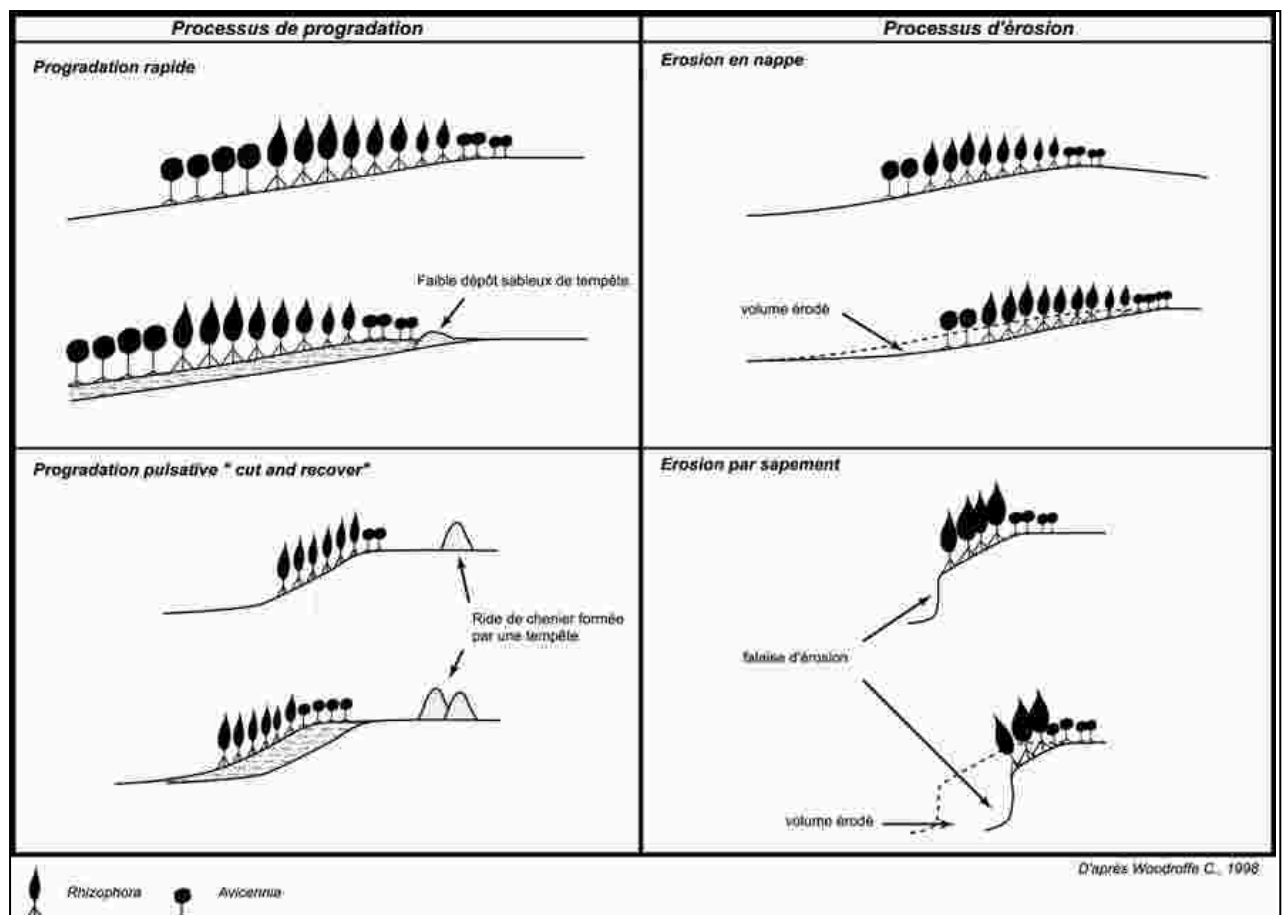
Tableau 69: familles genres et nombre d'espèces minoritaires (Turmine V 2001)

Familles	Genres	Nombre par espèces
Acanthaceae	<i>Acanthus</i>	1
	<i>Bravaisia</i>	2
Bombacaceae	<i>Camptostemon</i>	2
Cyperaceae	<i>Fimbristylis</i>	1
Euphorbiaceae	<i>Excoecaria</i>	2
Lythraceae	<i>Pemphis</i>	1
Meliaceae	<i>Xylocarpus</i>	2
Myrsinaceae	<i>Aegiceras</i>	2
Myrtaceae	<i>Osbornia</i>	1
Pellicieraceae	<i>Pelliciera</i>	1
Plumbaginaceae	<i>Aegialitis</i>	2
Pteridaceae	<i>Acrostichum</i>	3
Rubiaceae	<i>Scyphiphora</i>	1

Sterculiaceae	<i>Heritiera</i>	3

Les vasières à mangrove sont aussi liées aux processus morphogéniques, au substratum au caractère d'abri de certains sites. Ces vasières ont une certaine mobilité en fonction des sédiments en place. C'est l'idée de Turmine V (2001) qui lie la mobilité des marais à la nature des sédiments ; « la mobilité des marais à mangrove est donc dépendante de la nature des sédiments et également de la maturation du sol ».

Tableau 70: Processus morphogéniques affectant les marais à mangrove



Turmine V (2001) []

Cette dépendance se traduit par une distribution végétale qui se rapproche du schéma sur l'évolution des marais de Floride par Davis (1940,) in (Bertrand, 1993 et Woodroffe, 1998) :

- *Rhizophora mangle* : formation pionnière si la progradation est lente,
- *Avicennia* : formation pionnière si la progradation est rapide,
- l'association *Rhizophora* – *Avicennia* dans les zones matures,
- la disparition des *Rhizophora* et la décroissance des *Avicennia* vers l'intérieur au profit d'espèces psammophiles ».

Les vasières peuvent être de plusieurs types:

- « - les vasières d'accumulation sous-marine (les vasières au large) ;
- les vasières de la frange littorale (sur l'estran) ;
- les vasières d'estuaires ou de l'aval de fleuves, subdivisées en vasière nue ou slikke) en aval et schorre en amont, dans les estuaires ».

Elles enserrent le plus souvent des poches de tannes qui sont des tannes inclus, qui forment de petites enclaves au sein de la mangrove.

Mais cette végétation a subi de multiples agressions aussi naturelles qu'en anthropiques.

Selon la FAO (2008) « malgré la tendance au ralentissement, 20 % des superficies ont été détruites depuis 1980 et le monde a perdu environ 3,6 millions d'hectares de mangroves depuis 1980, soit une perte effrayante de 20 % de la superficie totale des mangroves, selon l'étude récente d'évaluation des mangroves de la FAO intitulée "*Les mangroves du monde 1980-2005*". La superficie totale des mangroves est passée de 18,8 millions d'hectares en 1980 à 15,2 millions en 2005, selon le rapport. Il y a cependant eu un ralentissement du taux de déforestation des mangroves qui est passé d'environ 187 000 ha détruits par an dans les années 1980 à 102 000 ha par an entre 2000 et 2005, reflétant une plus grande conscience de la valeur des écosystèmes de mangroves ».

Certains pays ont réussi à atténuer la destruction de leurs mangroves comme le Sénégal où des efforts sont faits dans le reboisement.

Les modifications des conditions climatiques se traduisent, dans l'ensemble du pays, par un déficit pluviométrique important. C'est dans ce contexte que Dancette C (1985) affirme que la dégradation de la mangrove dans le Sine-Saloum est due en partie à la baisse des précipitations.

En effet, il explique qu'« entre 1930 et 1967, la pluviométrie moyenne variait entre 700 mm au Nord et 950 mm au Sud. Depuis 16 ans, ces moyennes sont passées à 500 et 700 mm».

Ce qui constitue donc une importante baisse.

Au Sénégal, les vasières à mangrove bordent les bolongs. Du continent vers l'intérieur, se dresse une sorte de chrono séquence dont parle Vieillefon J (1977) « dans les zones estuariennes de la Casamance et du Sine-Saloum, qui bordent le littoral atlantique du Sénégal (12-14° lat. N), on observe, entre les chenaux de marée anastomosés, une répartition régulière des sols, de la bordure du chenal, occupée par des sols hydromorphes très organiques sous une végétation de mangrove, une zone sans végétation ou simplement couverte d'une prairie rase à halophytes, appelée "tanne" au Sénégal.

L'identité absolue entre les couches profondes et les indices de transformation dans les horizons supérieurs, montre qu'il s'agit d'une chrono - séquence.

Concernant le Sénégal, « la situation de 1980 est la suivante : 162.000 ha de mangroves dont 19.000 ha sont localisés dans les Parcs Nationaux des îles du Saloum (17.000 ha) et de Basse Casamance (2.000 ha) » Gueye S 2000).

La première caractéristique de cette séquence est un gradient de végétation: aux grands *Rhizophora racemosa* de bordure succèdent des *Rhizophora mangle* plus petits, progressivement envahis d'un tapis herbacé *Paspalum vaginatum*, puis des *Avicennia*, mêlés de *Sporobolus robustus* et *Sesuvium portulacastrum*, ensuite une auréole de sol nu parsemé de *Philoxerus vermicularis* entourant une dépression *Heleocharis mutata ou carribea* ».

Dans l'estuaire du Saloum, Diara M (1999) distingue « deux principaux types de vasières: les vasières fossiles et les vasières actuelles. Leur formation, à des périodes climatiques bien différentes, ne relève pas des mêmes processus sédimentaires.

Les vasières fossiles sont constituées de vase sableuse ou de sable argileux sur une épaisseur de 20 m environ (Marius, 1985). La fraction sableuse, plus ou moins importante entre le Nord et le Sud, forme des intercalations fines souvent coquillières.

Les dates les plus anciennes sont de 6 130 et 6 070 ans BP., respectivement à -10 m et -9 m, au sud du delta (Kalck, 1978). Ces unités se sont formées au cours de l'épisode humide enregistré entre 9.000 et 6 000 ans BP.

- celles du Nord par épandage des matériaux fins amenés en suspension par le Saloum et son affluent le Sine, depuis le Nord-est du pays sur la bordure septentrionale du golfe,

- celles du Sud par le dépôt des vases transportées par la Gambie.

Elles forment le soubassement deltaïque sur lequel reposent les vasières actuelles et les cordons ».

Elle a remarqué « des vasières "fossiles" sous certains cordons dunaires du sud et des vasières reliques, mises à nu au cours de tempêtes sur des plages en érosion à Djifère et sur la flèche externe de Niodior, ont été observées. Les vasières fossiles ne s'observent que sous les cordons sableux dont elles constituent le soubassement, tandis que les vasières reliques apparaissent comme des lentilles de vase sur des plages actuelles en érosion ».

Le long de l'estuaire et dans le delta du Saloum, se remarquent deux grands domaines maritime et continental :

- le domaine continental est le principal habitat de la flore sauvage. Il est aussi la limite la plus au nord de plusieurs espèces ligneuses d'affinité guinéenne. Le domaine continental est la principale source trophique par ses cours d'eau estuariens et de son écosystème mangrove.

« C'est aussi la zone la plus dégradée de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum; plus de 80 % de la superficie est défrichée », la salinisation et les tannes s'intensifient et la mangrove est très dégradée sur de vastes étendues. Le domaine maritime commence de Djifère et se termine à Djinack Bara, jusqu'à deux kilomètres à l'intérieur de l'océan atlantique.

Il comporte des chapelets d'îlots, de bancs de sable et d'importants herbiers dont la présence en fait également une zone de reproduction de tortues marines, de crevettes et de nombreux poissons. C'est le premier site de pêche de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum.

« Dans la partie sud du Sine-Saloum, la mangrove est très étendue. Elle occupe la quasi-totalité de l'espace situé entre les bolongs. Les palétuviers sont hauts (7 à 11m), notamment en bordure des chenaux de marées (Barusseau et al 1986).

Photo 10: mangrove saine le long du Léba



UICN (2004)

Le long du Léba, elles sont saines et bordent les deux rives de Djinack jusqu'au-delà de Toubacouta et comportent de hauts palétuviers ; plus de 7m. Au-delà de Foundiougne, la mangrove est complètement dégradée.

Mais, des bouches du Bandiala en direction de Missirah, la dégradation de la mangrove a commencé à partir du point 13°38'392''N/16°35'969''W jusqu'au point 13°34'034''N/16°35'808''W. Elles se localisent le long des bolongs, pour le Diomboss, elles concernent toute la rive gauche tout l'Ouest de l'île de Poutaké, entoure le village de

Diofandor installé sur amas coquillier. Sur le bras droit, elles commencent après le cordon de Fandiong et se terminent par le Bolong à la confluence avec la Saloum.

Les grands *Rhizophora Racemosa* soumis à l'action directe des marées, ourlent les principaux bras, là, toute la rive gauche du Diomboss, tout l'Ouest de l'île de Poutaké jusqu'à Diofandor, la rive droite à partir du premier bolong à l'Est de Fandiong.

Leurs racines échasses en arceaux, formés en rideaux, leur permettent de résister efficacement à l'asphyxie à marée haute ; en même qu'elles constituent des pièges à sédiments très efficaces.

A l'arrière, prédominent les *Rhizophora mangle* moins élevés mais dont les peuplements sont plus étendus à l'Est de Poutaké.

La limite supérieure des vasières irrégulièrement submergées par les marées, est colonisée par *Avicennia africana* caractérisée par des racines à pneumatophores. Elle se trouve toujours dans les endroits où la tranche d'eau est moins profonde et la salure plus forte.

« C'est là que la sécheresse climatique a induit des transformations pédologiques importantes (Sall MM 1983) ».

Nos campagnes de terrains de 2009, nous ont permis de localiser certaines vasières à mangrove au long des quatre principales lignes du delta du Saloum ainsi que dans le domaine insulaire.

*Le long du marigot de Ndangane.

Sur la rive Est, la mangrove dégradée évolue en tanne, au droit de Mar Fafaco, la vasière à mangrove est remplacée par un tanne nu blanc, des poches dégradées se succèdent jusque dans la boucle de Djilor où elles se terminent sur la rive occidentale par un cordon.

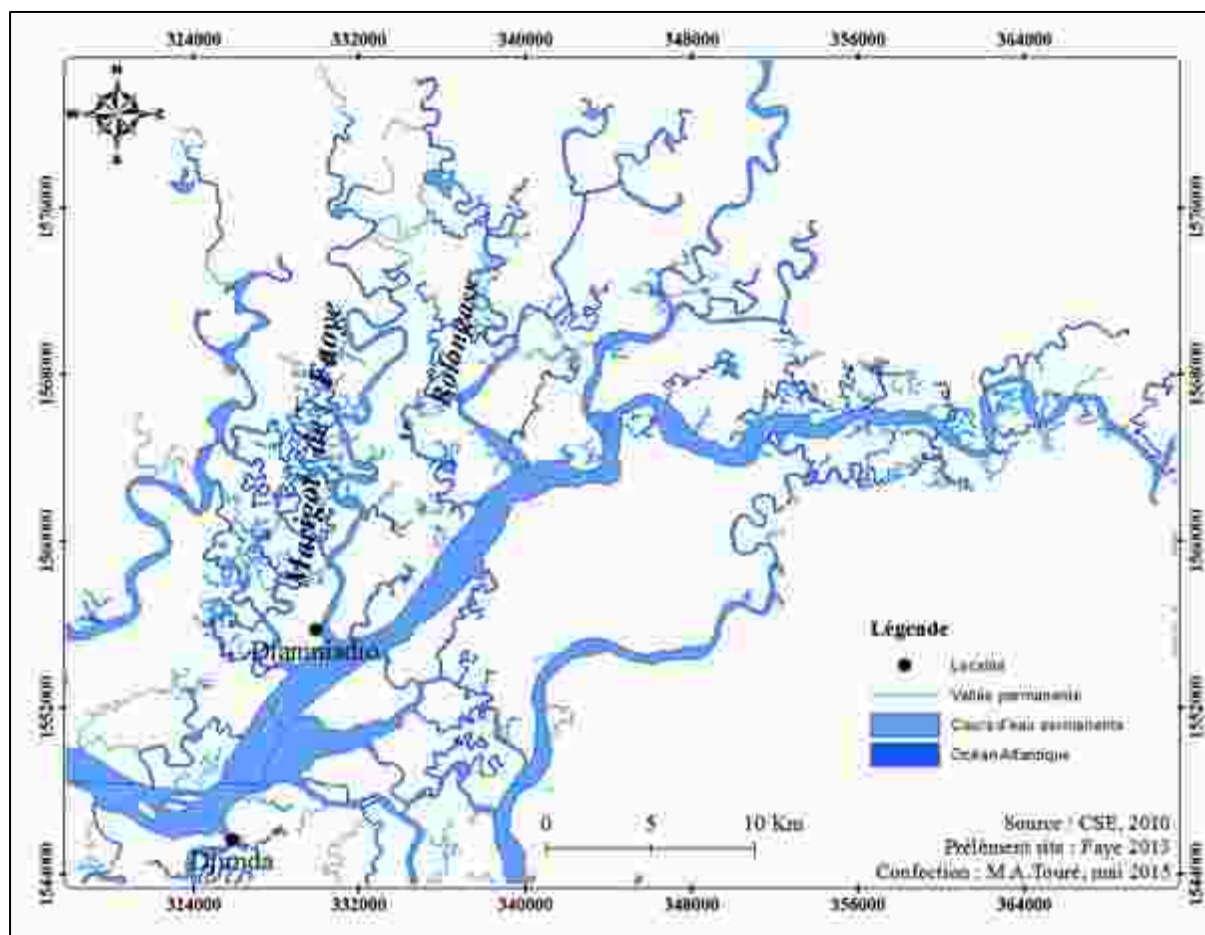
*De Djilor à Fimela, la vasière à mangrove borde la rive ouest et le village de Fimela au Nord.

*Le long du Bolong de Faoye en direction de Diamniadio.

Elle est composée de bois morts submergés avant l'île de Ndjonda où quelques reliques longent les eaux de Ndjonda à Mbolonghass I, elle a disparu sur les deux rives de Mbolonghass II. Mais, au fur et à mesure qu'on s'approche de l'île de Diamniadio, la mangrove se ranime sur la rive Est. Le village de Diamniadio est entouré de 2 lignes de vasière à mangrove saine.

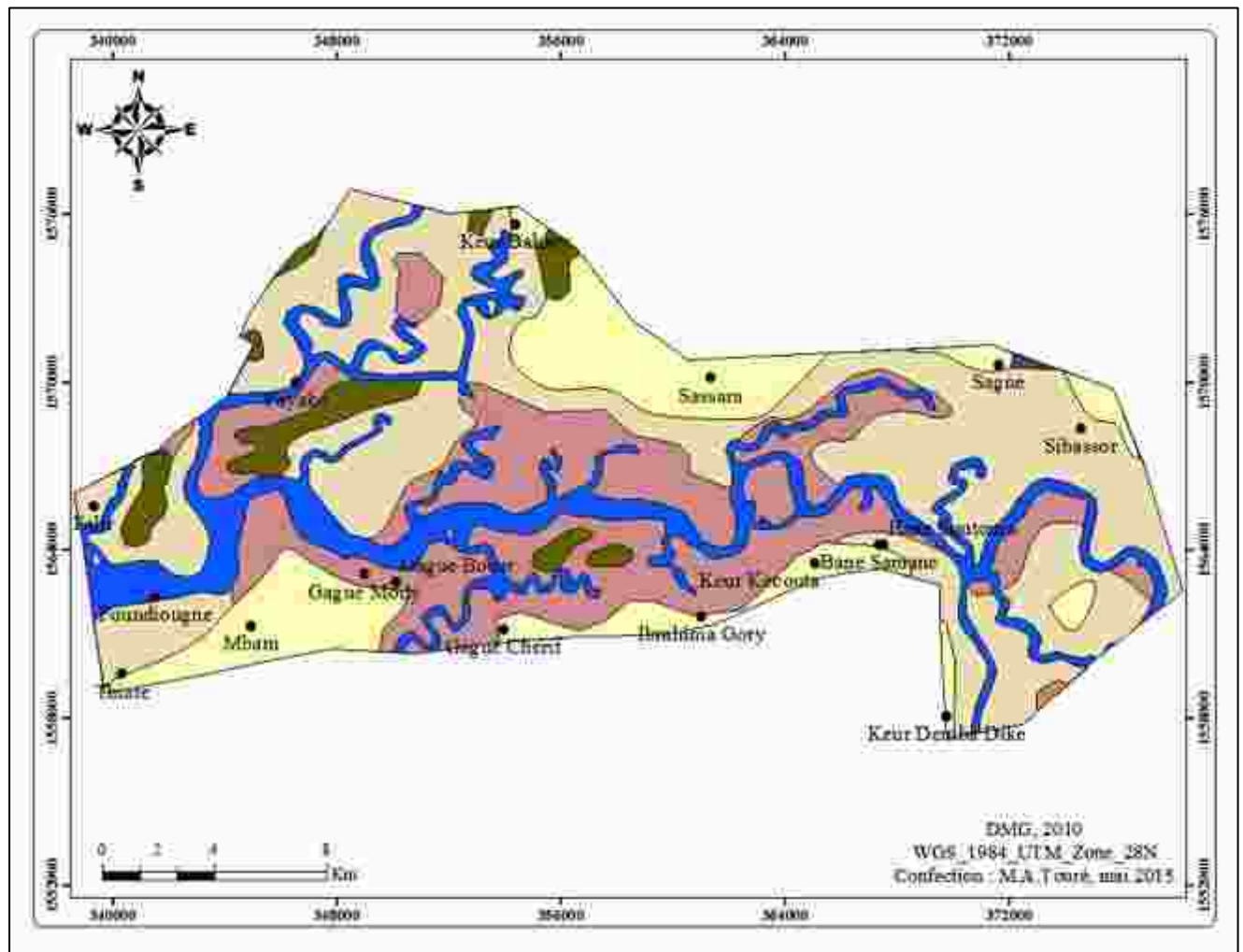
*Le long du Bolong de Nganassaw-khabak, aucune mangrove, tout est tanne et cordon à végétation continentale.

Carte 37: Sites le long des bolongs de Ndangane et de Faoye



*Sur la ligne du marigot de Fayil, aucune mangrove jusqu'au village de Sakhor qui est perdu dans les vastes étendues de tannes nus ; de même qu'à partir de Fayil vers le Nord. (Cartes 38)

Carte 38:unités morphologiques le long du Saloum de Foundiougne à la Forêt Classée de Kousmar.



Légende

! Localité

 Limite milieu d'étude

 Hydrographie

Quaternaire

Formations littorales et deltaïques

 vasières anciennes:enherbées

 vasières anciennes:partiellement
dénudées

 vasières anciennes:dénudées

Formations sur dépôts alluviaux et colluviaux

 formations du fleuve: contact alluvial fluvio-marin

Formations éoliennes : Erg récent (dunes de l'intérieur à modelé atténué)

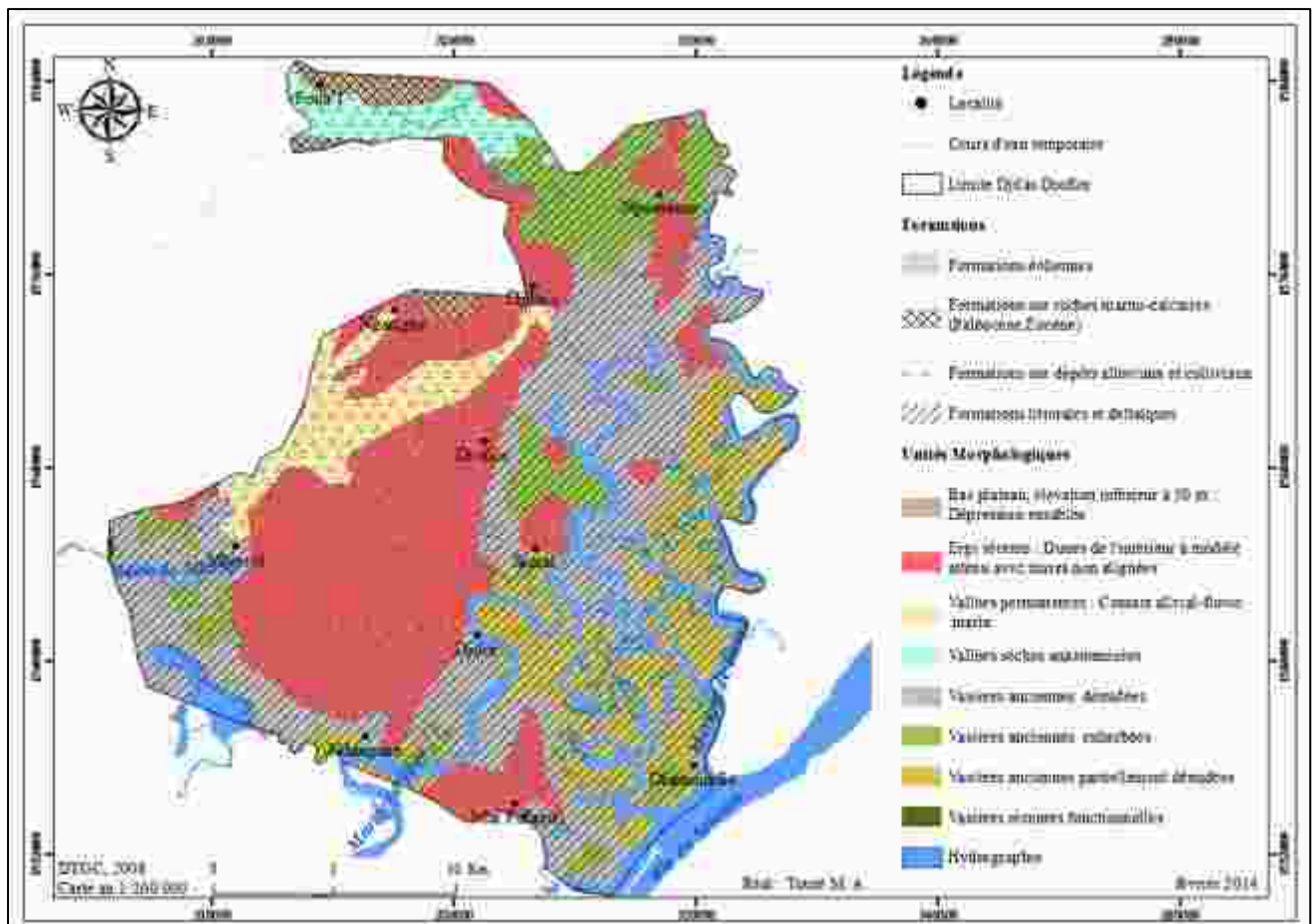
 avec mares non alignés

Secondaire et Tertiaire

Formations sur grès plus ou moins argileux du «continental Terminal» (Oligo-Mio-Pliocène)

 Basses plaines et cuvettes

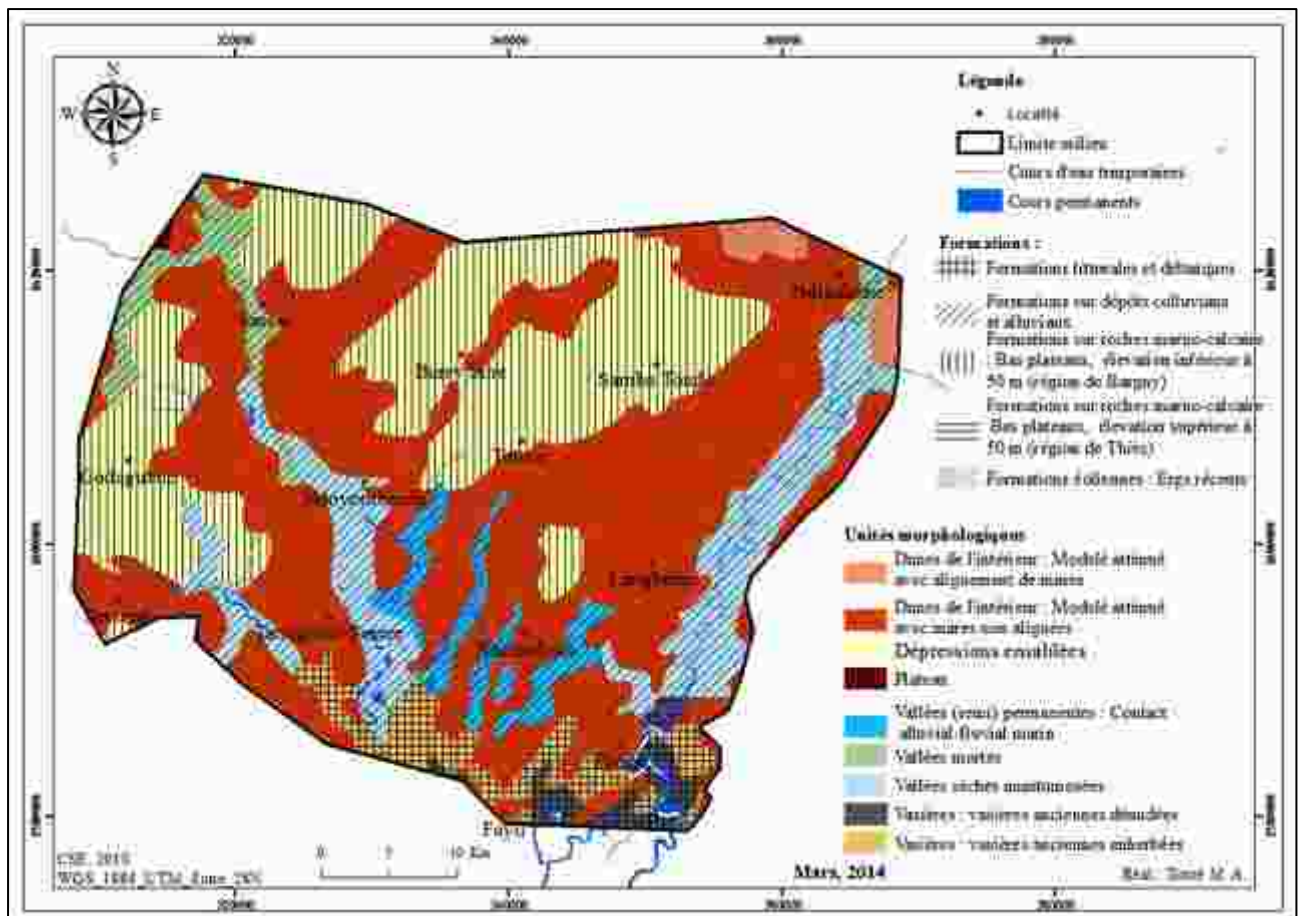
Carte 39: unités morphologiques le long des bolongs de Ndangane et de Faoye



Dans le domaine insulaire, elle existe presque partout :

- de Moundé à Djirnda, le bolong est limité par une mangrove saine qui continue jusqu'à Ngadior. Elle est aussi intacte entre Moundé et Thialane. De Moundé à Bassar, la mangrove est à Rhizophora et elle est saine, mais dégradée à l'Est de Bassoul et à l'Ouest de Bassar
- de Thialane à Diogane, les deux rives du bolong sont longées de vasière à mangrove de haute taille après une vaste microfalaie sur cordon à l'Ouest de Thialane.
- Moundé/Falia/Guissanor: Moundé et Falia sont séparés par une mangrove saine où s'exploitent les huîtres, tandis que l'île de Guissanor est limitée par une vasière à mangrove dégradée au Nord. Dans cette partie la mangrove jouxte un cordon à Acacias sous forme de forêt classée. Au sortir de Moundé vers Falia, les Rhizophora jouxtent le Likit ou youngandéké avec une mangrove intacte. Plus on avance vers l'Ouest, plus les individus deviennent de plus en plus grands sur les 2 rives jusqu'à la ligne principale du Saloum.

Carte 40: unités morphologiques dans le Sine (arrondissement de Tattaguine)



A l'entrée du marigot de Ndangane, la rive est jalonnée de Rhizophora se dégradant progressivement vers le Nord-ouest jusqu'à Ndangane village et au-delà.

- Dionewar-Niodior : leur liaison est interrompue par un bolong à mangrove saine comme à l'Est de Niodior, mais aussi au Sud de Niodior jusqu'à la pointe Jackonsa.
- La ligne Missirah-Bétenti est bordée d'une mangrove saine se dégradant en direction de Bétenti au fur et à mesure que la sédimentation devient de plus en plus sableuse.
- Siwo : à l'Ouest et au Sud, la mangrove est conservée, de même sur quelques poches en direction de Moundé ;
- Falia/Guissanor, le Bolong est limité par une saine vasière à mangrove comme sur la ligne Falia ouest- Moundé.
- Sur le Saloum de Djifère à Kaolack : de Djifère à Diakhanor, la mangrove saine commence au niveau du point (13°58'086N/16°45'476W). Elle est de courte taille du côté de la flèche est complètement dégradée au droit du village.

A la confluence avec le marigot de Ndangane, la mangrove est à dominante Avicennia du côté continental ; elle accompagne les deux rives du Saloum.

A l'approche de Djirnda, elle devient saine côté interne ; tant du côté externe, elle est entrecoupée de segments de cordons. Tout autour du village, elle est à dominante *Rhizophora*, mais dégradée, devenant de plus en plus intacte à l'approche de Rofangué et de Diamniadio où elle est rabougrie. Au Nord-est de Diamniadio, en direction de Faoye, elle est beaucoup plus saine sur les deux rives du bolong.

Au droit Rofangué 14°04'304N/15°32'210W, elle est saine au nord mais complètement dégradée au sud et cette situation continue sur les deux rives jusqu'à Foundiougne.

Tout au long du Kal de Rofangué-Vélingara - Mbaout, la mangrove est saine sur les deux rives.

A Foundiougne 14°08'209'N/16°28'162''W, pas de mangrove du côté de Ndakhonga et à partir de Foundiougne, les mangroves à *Avicennia* deviennent de plus en plus espacées le long du Sine.

De Ndolette (14°08'750' N/16°23'306'W) à Ndangane Diène, la vasière à mangrove à *Avicennia* est complètement dégradée sur les deux rives ce qui explique un reboisement aux environs de Ndolette.

De Ndangane Diène (14°09'201''N/16°17'861''W) à Lyndiane il n'y a plus de mangrove.

Les deux rives sont bordées d'un tanne nu avant le bas plateau du C.T et ce paysage constitue jusqu'à l'île de Kouyong. Mais, au sortir de cette île, des traces d'anciennes mangroves ont été trouvées à Tchikat Abdoulaye Ba 14°05N/15°55W ; la latitude la plus orientale de la mangrove sur la ligne du Saloum. Dans ces secteurs, l'augmentation de la salinité est responsable de la disparition de la mangrove.

-Sur la ligne de du Diomboss : à l'Ouest de Sokone au bout du bolong, la mangrove est saine et de haute taille surtout entre Sokone et Limane. Dans ce secteur, la chrono- séquence *Rhizophora*, *Avicennia*, tanne nu et tanne herbu et cordon est respectée.

Le scénario de mangrove à *Rhizophora* saine se maintient jusqu'au village de Bambougar.

Mais au niveau de ce village, la chrono- séquence est interrompue, les *Rhizophora* jouxtent le cordon sur amas coquilliers et il y a dégradation sur la rive sud à partir de la latitude 13°53'020''N au droit du village de Mbassy. A partir de cette localité saisonnière, elle redevient intacte jusqu'à la latitude 13°53'020''N surtout sur la rive sud.

Mais sur la rive nord, elle disparaît par endroits jusqu'à la latitude 13°53'694'' N au village de Gandiara où à partir duquel, elle redevient saine. Ce scénario continue mais interrompu à la forêt de Djoundiougne à la latitude 12°52'812''N, elle diminue progressivement jusqu'à l'île de Gouk oriental (13°52'311''N/15°31'339''W). A partir de cette île, les *Rhizophora* gagnent du terrain jusqu'aux environs de la latitude 13°50'720''N.

A partir de 13°50'324''N, c'est la reprise de la vasière à mangrove saine conservant cette qualité jusqu'au Nord sur la rive sud de Poutaké (13°49'904''N /16°33'869''W) au droit de Bhakhalou à l'Ouest de Diofandor où elle est dégradée mais, saine à partir de cette localité jusqu'au village d'Ifoura, 130°46'726''N/16°36'940''W, la vasière à mangrove redevient saine en direction de Bétenti jusqu'à la 13°44'100''N. Quelques témoins en touffes espacées subsistent le long du front de mer de Bossinkang à Bétenti jusqu'au village de Djinack Bara (13°36'113''N/16°32'690''W).

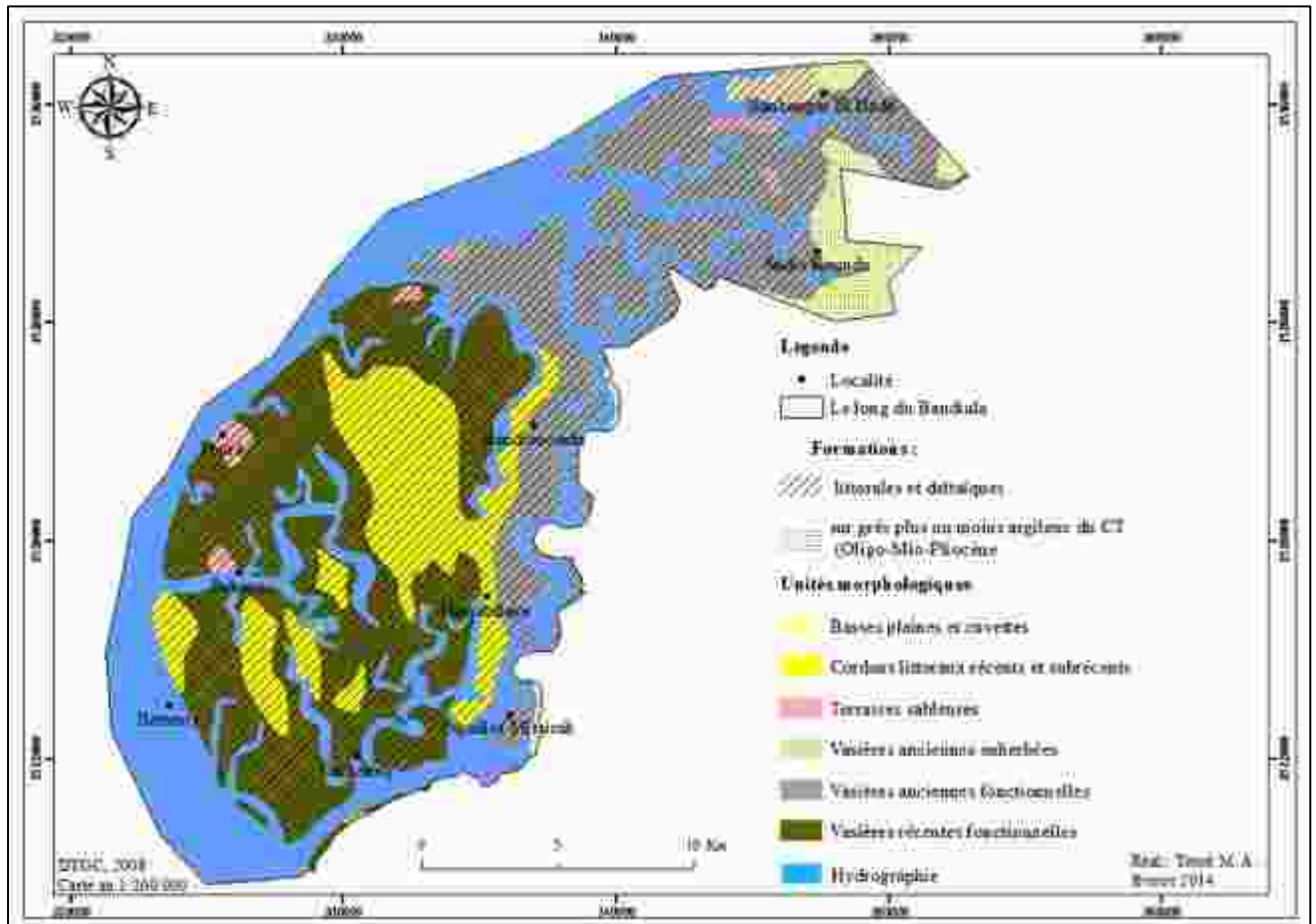
A l'Ouest de Bétenti (13°40'924''N/16°38'240''W), les îlots aux oiseaux et aux bœufs sont recouverts d'une vasière à mangrove saine. Mais parmi les deux flèches sableuses parallèles au littoral, l'une porte une vasière à mangrove dégradée et de courte taille et en bancs espacés jusqu'à la latitude 13°39'109''N côté Bétenti, cette bande s'arrête à la latitude 12°40'140''N. Le même paysage se maintient jusqu'à la bouche du bolong de Missirah longée de vasière à mangrove dégradée (13°38'301''N/16°35'650''W) sur les deux rives.

A partir du bolong de Sokone direction Diomboss, nous rencontrons au Nord du village de Badokh, côté sud le premier bolong en direction de Diabang et le second en direction de Badoudou. Le secteur 13°24'126''N/16°27'648''W sur le Guilor, est la limite historique de séparation entre le Gandoul au Nord et le Bétenti au Sud.

Au droit du village de Niadiane 13°56'076''N/16°28'624''W, la mangrove est intacte sur les deux rives le long du bolong de Guilor jusqu'au village de Koulouk

13°55'088''N/16°30'957''W. Le paysage reste monotone jusqu'au droit de Bangalère 13°57'366''N/16°28'981''W où la mangrove commence à être dégradée sur la rive sud, mais toujours saine au Nord. A partir du secteur 13°58'407''N/16°29'364''W, elle redevient saine sur les deux rives jusqu'au Ndangane de Félane 14°01'099''N/16°28'209''W où elle est à dominante *Avicennia* devant les tannes nus ensablés et *Tamarix senegalensis* qui longent le cordon. Le Guilor devient le Bagal et la mangrove redevient saine au Nord à partir de la latitude 14°01'530''N en direction de Mbélane : c'est le domaine hanté de Laga, Pangol des Tabor. Se rencontrent des microfalaises sur cordon en rubéfaction sur la rive ouest du point 14°02'520''N/16°28'528''W jusqu'au point 14°02'820''N/16°28'220''W.

Carte 41: unités morphologiques entre le Diomboss et le Bandiala de Djinack Bara à Bambougar El hadji.



Aucun changement n'est noté sur la rive Est où la mangrove est toujours en bon état. Mais, elle se dégrade brusquement sur la rive ouest à partir de la latitude 14°03'096''N jusqu'à la latitude 14°03'429''N, où elle fait place à un tanne nu au droit de Mbélane. Au Ndangane de Mbélane 14°03'443''N/16°27'355''W, les palétuviers sont dégradés sur les deux rives et font place à un tanne nu à l'Est à partir de la latitude 14°03'565''N devant un cordon à *Adansonia digitata* et à *Acacias* jusqu'à la ligne 14°03'524''N. Les touffes sont espacées mais à l'ouest la mangrove est beaucoup plus saine. A partir de la ligne 14°03'326''N, elle conserve son état primaire en direction du village de Sadioga, mais de courte taille sur les deux rives ; le kal de Laga continue et de la ligne 14°03'340''N, la mangrove perd son état primaire jusqu'à la latitude 14°03'424''N où elle redevient saine sur les deux rives jusque vers 14°03'449''N où un mince filet de tanne nu l'accompagne jusqu'à la ligne 14°03'482''N. Sur la rive Ouest, elle est à dominante *Avicennia* 14°03'619''N, ligne au-delà de laquelle elle n'existe plus à l'est, mais se maintient à l'ouest jusqu'à la latitude 14°03'668''N où elle se ranime à l'est.

Elle disparaît progressivement à l'ouest jusqu'à la ligne 14°03'943''N où elle n'existe plus, remplacée par un tanne nu puis par un reboisement d'eucalyptus.

Le tanne nu continue jusqu'au village de Bambou 14°04'497''N/16°23'690''W où le Ndangane est une dune rouge avec microfalaie, surmontée d'une végétation à acacias.

Ce scénario de dégradation continue sur les deux rives jusqu'à l'ouest de Gagué Chérif où la mangrove disparaît ; le chenal accompagne le tanne nu, débouche dans le Saloum en deux bras : à l'Est de Gagué Bokar et à l'Ouest de Ngamsa.

Sur la ligne du Léba, à partir de l'océan, la vasière à mangrove commence à quelques 500 m du village de Djinack Bara sur les deux rives mais beaucoup plus saine sur la rive nord et la chrono-séquence n'est pas respectée : la vasière à mangrove jouxte le cordon à *Adansonia digitata* au Nord et au Sud, et les *Rhizophora* sont de haute taille. La situation est identique tout au long des Bolong jusqu'à Bakadadji.

De Missirah ouest (13°39'877''N/16°31'472''W), le même scénario de vasière à mangrove saine continue sur les deux rives jusqu'au Ndangane Doudou (13°42'140''N) où elle est dégradée sur la rive ouest. De là, elle redevient saine mais, de taille moyenne sur la rive occidentale jusqu'à la latitude (13°44'517''N).

Cette dégradation continue jusqu'au village de Sipo (14°45' N / 16°30 W) à partir duquel, elle devient intacte mais le bolong change d'orientation : Est/Ouest, et les rives deviennent Nord / sud. Cette situation est interrompue par un tanne nu jusqu'à la latitude 13°45'490 '' N, où elle redevient saine jusqu'au kal orienté N/ S au point 13°45'795''N. Après ce kal, elle maintient son allure sur les deux rives devenant de plus en plus haute jusqu'à Toubacouta (13°46'224''N / 16°29'230'' W) et au-delà de Sourou, où le phénomène de dégradation se perçoit aux environs de Sangako, mais de moindre ampleur jusqu'au sud Sokone.

Sur la ligne du Sine, à partir de Foundiougne : c'est le domaine des *Avicennia*. La vasière à mangrove est complètement dégradée sur les deux rives, séparée des eaux par un filet de tanne nu, de Foundiougne jusqu'à la confluence Sine- Saloum 14°09' 657''N / 16°27'250'' W.

Ce paysage monotone continue jusqu'à la latitude 14°09' 744'' sur la rive ouest et jusqu'à Niam Diarokh à l'Est (14°10' 440''N / 16°27' 142''W). La chrono- séquence n'existe plus, et le même scénario se prolonge jusqu'à Fayako (14°11' 866''N / 16°25' 226''W) par une succession de touffes espacées qui se maintiennent sur la rive nord au droit de Fayako.

Du Sud, ces touffes vont de la latitude 14°12' 258''N jusqu'au confluent avec le marigot de Keur Barka.

Photo 11: Mangrove saine le long du Léba



Cliché Faye G (2008)

Après la confluence avec le marigot de Keur Barka, ces touffes disparaissent et le chenal prend la direction Nord/ Sud ; le paysage continue par un tanne, des touffes d'Avicennia et le cordon sur le Continental Terminal à l'Ouest, et par un tanne et un cordon sur le Continental Terminal à l'Est jusqu'au point 14°13' 258''N pour s'interrompre à la ligne 14°13' 510'' N et jusqu'au point 14°13' 198''N à l'Ouest où ils se terminent.

Le chenal change de direction à la latitude 14°13' 225''W et redevient Nord/sud et se remarque quelques touffes au méandre Est. De là, le scénario reste monotone se caractérisant par une succession de méandres à la latitude : 14°14'400''N, direction Nord-est/ Sud-ouest, 14°15' 010'' N direction Est/ Ouest, 14°15' 350''N direction Nord/ Sud, 14°16' 388''N direction Est /Ouest, 14°16' 075''N direction Nord Sud, 14°16' 738''N direction Est Ouest, 14°17' 530''N direction Nord /Sud, 14°17' 470''N direction Est/ Ouest, 14 °17' 640''N direction Nord/ Sud, 14°17' 865''N direction Est/ Ouest, méandre 14°19' 060'' où le chenal est parallèle à la route nationale Dakar - Kaolack, méandre 14°19' 485''N , 14°19' 708''N, méandre 14°19' 138''N, dernier méandre 14°19' 069''N avant d'arriver au pont sur le Sine à Fatick par une ligne droite continuant jusqu'à Ndiémou 14°22' 527''N/16°21' 716''W où s'arrêtent les eaux salées pendant la saison sèche.

Photo 12: mangrove dégradée à Niam Diarokh



Cliché Faye G (2008)

Les vasières peuvent être soumises à plusieurs modes d'érosion surtout pour celles qui sont en front de mer comme le long du littoral de Dionewar qui subit de plein fouet, l'effet de la houle du NW. D'où la remarque de Turmine Vincent (Juin 2001) selon laquelle « le premier mode d'érosion (sheet erosion) affecte les profils les moins inclinés. Cette modalité réduit l'épaisseur des sédiments en place, augmentant légèrement la pente. La zone externe conserve alors sa composition végétale, c'est à dire une bande d'*Avicennia* suivie par des *Rhizophora*. Il y a une translation de la composition floristique vers l'intérieur du marais.

Ce type d'érosion est mis en place par l'action de la nappe de retrait après le déferlement des vagues pour les mangroves de front de mer. Pour les mangroves de front de mer, cette modalité se représente par la formation d'une falaise d'érosion où l'ablation des sédiments tourbeux constitue une vasière sous les racines des premiers palétuviers ».

Cette microfalaise d'érosion est remarquable sur les estrans de Dionewar.

Photo 13: Mangrove dégradée au niveau de Dionewar



Cliché Faye G 2008

Le long du Sine comme le long du Saloum, l'UICN (2004) parle de « la hausse de la mortalité des mangroves (100 % enregistré à Foundiougne. Le long du Sine, elle n'existe plus à partir de la latitude de Niam diarokh ($14^{\circ}10' 440''\text{N}$ / $16^{\circ}27' 142''\text{W}$), jusqu'au bout en raison de l'ensablement des vasières et l'accroissement de la salinité, auxquels s'ajoutent les impacts négatifs du déboisement. Mais *Tamarix senegalensis* sont les témoins rencontrés à Ndoss Jaraff. Le long du Saloum, quelques reliques se retrouvent aux environs de Ndolette sur la rive droite. » Le nord du complexe estuarien est occupé par une mangrove très dégradée qui finit par disparaître en amont du Saloum. La hauteur de la mangrove est généralement inférieure à 4 m (UICN 2004) ».

Photo 14: Mangrove dégradée au niveau de Fayako



Cliché Faye G Août 2010

Selon l'UICN (2004), « le bilan hydrique de la période de 1961- 1990 a permis aux différents chercheurs de cerner les facteurs responsables de la disparition de la mangrove du Sine-Saloum (EPEEC, 1982 ; EPEEC, 1983 ; Diatta et *al.*, 1981).

Il s'agit entre autres de :

- «- la diminution des apports d'eau douce liée à la salinisation ;
- la contamination de la nappe phréatique ;
- la remontée de la limite tidale vers l'amont ;
- la disparition des *Avicennia* et apparition des tannes vifs ».

Diop E S (1986) distingue un couvert végétal sous trois formes :

- une mangrove primaire avec de rare période de déboisement.
- une mangrove secondaire très fréquente, résultant de l'exploitation de la mangrove primaire, avec des signes de dégradation attestés par un accroissement des individus morts au fur et à mesure que l'on remonte vers l'amont et que la salinité s'accroît.
- une mangrove aménagée, ce taxon n'est pas représenté le long du Diomboss ».

Dans les autres secteurs et au long de certains bolongs, la limite supérieure des vasières, irrégulièrement submergées par les marées, est colonisée par *Avicennia africana*.

Dans le terroir du sud de Foundiougne (Log), la mangrove qui demeure l'une des principales espèces végétales est très touchée par la dégradation. Par exemple à l'Ouest de Thiaré, la mangrove est complètement dégradée de même qu'au droit de Mbam où il ne reste que quelques touffes d'*Avicennia africana* et des *Rhizophora racemosa*.

Beaucoup d'auteurs avancent plusieurs causes à la dégradation de la mangrove.

C'est le cas de Diop et *al.* (1989) qui accusent la perturbation des régimes hydriques responsables de la submersion ; de Marius et *al.* (1992) qui soulignent que cette perturbation de la sédimentation ; tandis que pour Ndour, (2005), c'est la rupture de la flèche de Sangomar qui protégeait la mangrove de la zone du delta du Saloum des perturbations mécaniques de la houle, qui constitue une cause relativement importante de la régression des espaces de mangrove du Sénégal. Mais, pour nous, c'est l'augmentation de la salinité liée à l'accroissement des températures, qui est le facteur principal de dégradation de l'écosystème mangrove. Cela est confirmé par certains auteurs à l'instar de Dièye (2005), qui défend la théorie suivante : « les deux paramètres (sécheresse et salinité) agissent de façon corrélée sur l'environnement de l'estuaire. Selon eux, la mangrove est influencée par le déficit hydrique en raison de l'augmentation de la salinité des eaux qui en résulte.

Ce problème se manifeste par le recul de la mangrove au profit des zones de tannes.

Marius (1985) va encore plus loin pour dire qu'en raison de l'accroissement considérable de la salinité et de l'aridité des sols, les tannes herbacés ont tendance à évoluer en tannes à efflorescence salines ». De plus, les travaux de Diop (1979, 1996) et Diaw & *al* (1993) en hydrodynamique morphopédogénétique et ceux portant sur la réhabilitation biologique des sols salés. (Sadio, S. 1991), montre le rôle important de l'eau douce dans la survie et le développement des palétuviers. Dès qu'il y a déficit en eau douce, il y a hyper salinisation, les plantes ne pouvant plus éliminer le sel, meurent. Ce qui pousse Kaly (2001) à écrire « qu'il ya toxicité et acidification des vasières et même des tannes. Toute la vie biologique est alors compromise d'où la rupture de la chaîne alimentaire ».

Nous comprenons par-là que les causes sont multiples, et souvent opposées d'un chercheur à l'autre. Ainsi à l'opposé des idées précédentes, Blasco (1983), « a écrit qu'en règle générale, la productivité végétale diminue lorsque la salinité s'accroît. Il estime qu'au niveau des estuaires du Saloum, de la Casamance et de la Gambie, aucun impact de la sécheresse n'est perceptible actuellement (1983). Pour lui, la principale cause de destruction serait plutôt une diminution du niveau de l'inondation quotidienne.

Selon Marius C (1984) ou encore Diouf & *al* (1998), bien que composée d'espèces tolérantes à la salinité, la principale cause de dégradation de la mangrove est la salinité révélée par un pH très élevé, la présence des sols sulfatés acides, l'ensoleillement.

Les causes de la dégradation de la mangrove sont aussi d'ordre anthropique.

De notre entendement, nous soutenons que les déficits pluviométriques chroniques pendant près de quatre décennies ainsi que l'action mécanique des fortes houles du Nord-ouest sont à l'origine de la plus grande partie de la dégradation de la mangrove du Sine-Saloum.

La dégradation de la mangrove du Sine-Saloum a créé différents problèmes au niveau de la région :

- inaccessibilité de certains villages à marée basse comme Niodior, Dionewar et Missirah;
- impossibilité de naviguer dans certains bolongs ;
- progression des tannes sur l'espace cultivable ;
- aggravation de l'érosion côtière ;
- déguerpissement de beaucoup de villages comme Djifère, Palmarin Diakhanor et Ngallou et Rofangué ;
- menace sur l'activité touristique ;
- difficulté d'approvisionnement en bois et en eau potable.

Cette dégradation de la mangrove a aussi d'autres effets écologiques comme la transformation des composés du fer. En effet, selon Loyer JY, et *al* (1985) « dans les sols de mangrove le fer se trouve en grande partie bloquée sous forme de pyrite. Les teneurs en soufre rapportées aux polysulfures, correspondant à une teneur théorique en Fe_2O_3 à quoi il faut ajouter les teneurs en fer non liées aux sulfures dans la mangrove (3 %), s'accordent bien avec les teneurs en FeLO_3 mesurées dans les horizons B des sols rouges.

Selon Loyer JY et *al* (1985) « dans le tanne, le fer réapparaît sous forme "libre". Il est assez abondant dans la solution du sol en saison des pluies, sans doute en raison de phénomènes de réduction, et se manifeste par des dépôts de rouille à la surface du sol et sur les faces structurales. Le fer migre à l'état ferreux et se dépose dans la zone de battement de la nappe. L'oxydation des sulfures de fer, principalement situés dans et au voisinage des racines de palétuviers, libère le fer dont une partie entre dans la formation des dépôts de jarosite.

Ces derniers peuvent ensuite disparaître par hydrolyse en redonnant des oxydes qui forment alors des gaines (iron.-pipes.) » Mais, tout le fer libéré ne se retrouve pas dans ces oxydes. Pour comprendre ces processus de blocage du fer, d'abord sous forme de pyrite, puis de jarosite, il faut tenir compte de l'évolution physico- chimique du milieu.

La variation de la teneur de ces éléments chimiques dans le sol peut avoir une part de responsabilité dans la dégradation de la mangrove. Cependant la régénération est surtout assistée dans beaucoup d'îles comme Djirnda, et dans certains villages riverains des grandes lignes d'eaux. Cela est confirmé par les travaux de Ralph M D N (2008) qui souligne : « cependant, bien que la végétation de mangrove régresse en certains endroits, une régénération naturelle a été signalée par divers auteurs tels que : Marius C (1984), Doyen et *al.* (1985), Diop et *al.* (1997), et Ndour (2005). Balla Dièye (2007) a démontré d'une régénération de 4,15 à 10,6 % pour une régression de 8,5 % par étude d'images satellitaires Landsat (1972, 1979 et 1999) et Spot (1986, 1990, 1997, 2001 et 2003). Il a localisé cette régénération sur les bordures des mangroves dans les tannes humides alors que la régression est concentrée dans la périphérie Nord-ouest de l'estuaire du Saloum ».

Enfin, les sécheresses récurrentes qui ont frappé les pays au Sud du Sahara depuis les années 1960, sont traduites par une baisse généralisée des précipitations entraînant de facto un déficit et un stress hydrique sans précédent par le tarissement de beaucoup de cours d'eau, l'hyper salinisation, l'acidification des terres de cultures et la rupture de l'équilibre écologique dans la mangrove.

« 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). Cette réduction a été calculée par Ackermann G et *al.* (2006) qui ont avancé que « la superficie de mangrove oscille, tout d'abord, de 45 852 ha en 1972 à 41 865 ha en 1988 et à 43 844 ha en 1999. Compte tenu de la période de sécheresse des années 1968 à 1994, cette évolution des superficies de mangroves semble une réponse directe aux fluctuations de la pluviosité ». Selon leurs mesures, entre « 1972 et 1986, période d'important déficit pluviométrique, les secteurs les plus septentrionaux et amont ont disparu entre 1972 et 1986, ne laissant en rive nord du Saloum que quelques massifs isolés, ceux-ci continuant à régresser entre 1988 et 1999 ».

6.1.4.2. Sédimentologie.

Les études antérieures faites par Diara M (1999) ont révélé que « les vasières sont constituées de sédiments très fins dont le pourcentage en pélite, est très variable. Associée à ces sédiments fortement quartzeux, la matière organique peut atteindre 13 % du sédiment total dans les vasières en bordure de mangrove, elle est inférieure dans les vasières nues; les coquilles ou débris coquilliers sont plus abondants que dans les cordons, dépassant quelquefois 15 % du sédiment total ». Sa datation des coquilles d'huîtres et d'arches prélevées dans les vasières reliques est confinée dans le tableau 80.

Tableau 71: Datations sur des coquilles d'huîtres et d'arches.

sites	Profondeur en Cm par rapport à la surface	Fossiles	Date corrigée
Niodior R 9	-10	huître	170 ans +/- 50 B.P.
Niodior R 9	- 47	huître	390 ans +/- 70 B.P.
Niodior R 9	- 63	arche	530 ans +/- 70 B.P.
Djifère	- 25	huître	\\ 80 ans +/- 80 B.P.

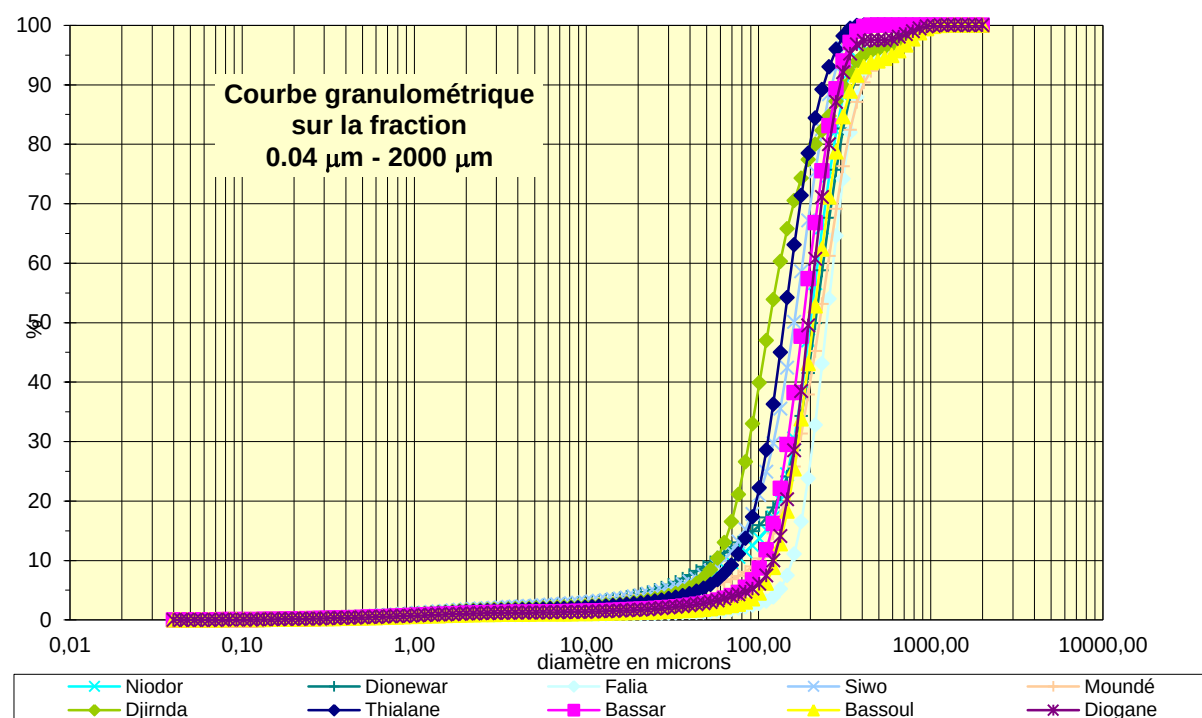
Diara M (1999)

6.2.4.1 dans le domaine insulaire

Les vasières sont perceptibles dans tout le domaine insulaire, mais nos échantillons sont tirés de celles des îles de Moundé, Falia, Bassoul, Bassar, Thialane, Djirnda, Mar Fafaco et de Mar Lodji, Fayako, Diogane, Niodior, et de Dionewar. Leurs sédiments contiennent en surface de vase argileuse noire avec matière organique, au niveau 1(20 cm -45 cm), au niveau 2 (45 cm-65 cm ou plus) par une vase argileuse avec forte teneur en argile et en matière organique. Dans certains endroits, le niveau 3(65 cm et plus) comporte une vase légèrement rubéfiée. Dans tous les niveaux se rencontrent des débris de coquilles. Dans les îles de Dionewar, Falia, Diogane, Moundé, Bassoul, et Djirnda toutes les sigmoïdes ont la même allure avec la même forme au niveau de tous les éléments (argile, silt et sable). A Siwo et à Thialane, se retrouve une autre allure plus redressée. Les sables grossiers dépassent les 50 % sauf à Djirnda 44,4 %, à Siwo 32,8 %, à Thialane 21,5 % et à Bassar 42,6 %.

Les valeurs du Mz et Mø sont partout supérieures à 2 avec un pic à Djirnda 3,082.

Mais la granulométrie n'est variée qu'à Dionewar 4,448, à Moundé 2,542, à Siwo 3,060 ; îles situées sur la même ligne. L'asymétrie presque partout négative, confirme le caractère grossier du stock sédimentaire. L'acuité supérieure à 1 dans toutes les îles, atteste le bon tri du sédiment. Enfin, le Cc évolue dans le même sens et dépasse partout 1.



Graphique 15: courbes granulométriques des vasières à mangrove dans le domaine insulaire.

Tableau 72: paramètres texturaux des vasières à mangrove dans le domaine insulaire.

Paramètres	Sites				
	Niodior	Dionewar	Falia	Diogane	Siwo
Indice de classement					
Trask, So		1,323	1,263	1,263	1,70
Krumbein, Qd	1,323	-0,403	-0,336	-0,337	5,85
Imann σ_ϕ	-0,403	-0,807	-0,538	-0,471	2,26
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,673	-1,076	-0,575	-0,521	3,59
Hazen, Cu	-0,846	4,448	1,749	1,594	92,45
Moyenne					
Trask, M	201,800	201,800	251,900	190,450	152,600
Folk & Ward, Mz	2,454	2,409	2,095	2,410	2,813
Coefficient de dissymétrie					

Folk & Ward, Ski	-0,320	-0,394	0,033	-0,215	-0,265
Coefficient de courbure Cc	1,452	2,109	2,109	2,109	1,452

Tableau 73: paramètres texturaux des vasières à mangrove dans le domaine insulaire.

Paramètres	Sites				
	Mound	Thialane	Bassa	Bassoul	Djirnda
Indice de classement					
Trask, So	1,386	1,322	1,263	1,323	1,521
Krumbein, Qd	-0,471	-0,403	-0,337	-0,403	-0,605
Imann σ_ϕ	-0,740	-0,605	-0,605	-0,539	-0,942
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,921	-0,690	-0,608	-0,657	-1,001
Hazen, Cu	2,542	2,109	1,921	1,750	2,314
Moyenne					
Trask, M	214,450	138,950	173,450	201,800	126,615
Folk & Ward, Mz	2,275	2,947	2,544	2,364	3,082
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	-0,175	-0,187	-0,154	0,132	0,110
Coefficient de courbure Cc	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205

Tableau 74: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules ; Vasières (domaine insulaire)

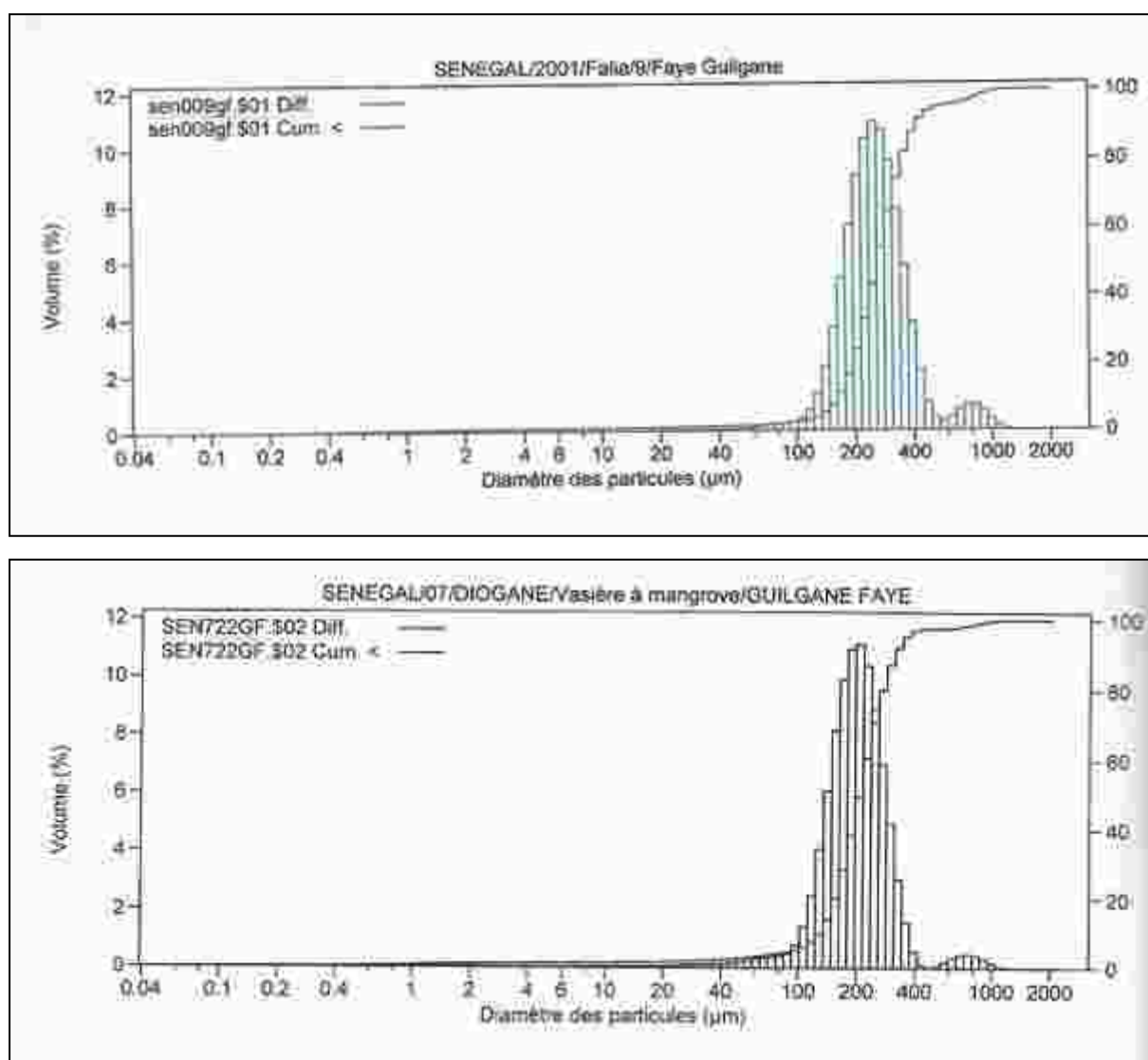
Paramètres	Sites				
Coefficient d'acuité (Kurtosis)	Niodior	Dionewar	Falia	Diogane	Siwo
Ecart-type:	2,661	3,004	2,047	2,188	2,687
Skewness:	-3,399	-3,04	-5,36	-4,891	-3,573
Kurtosis:	16,98	12,56	46,18	34,94	16,38

Tableau 75: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules ; Vasières (domaine insulaire)

Paramètres	Sites				
Coefficient d'acuité (Kurtosis)	Moundé	Thialane	Bassar	Bassoul	Djirnda
Ecart-type:	2,787	2,315	2,162	2,139	2,664
Skewness:	-3,479	-4,09	-5,18	-4,332	-2,393

Kurtosis:	16,97	22,88	36,05	33,95	12,3

Dans les vasières à mangrove, les particules sont homogènes attestées par une distribution leptokurtique et le Kurtosis varie entre 46,18 et 12,30 et le Skewness négatif donne une dissymétrie à gauche et une distribution leptokurtique dans tous les sites du Gandoul de Dionewar à Djirnda.



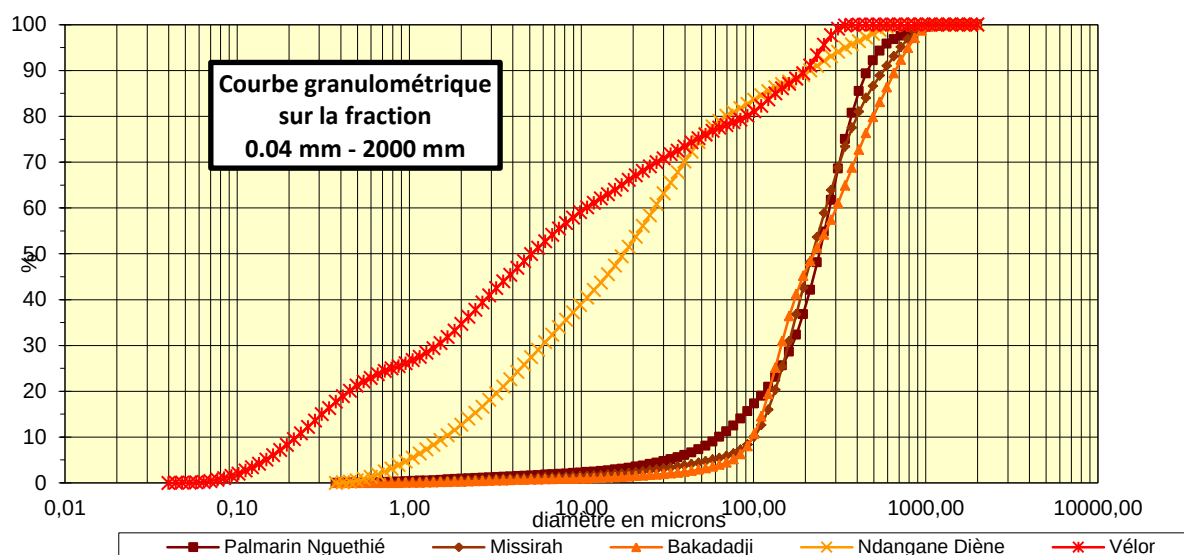
Graphique 16: : Courbes leptokurtiques des sédiments à Dionewar, Falia et Diogane

6.2.4.2. Dans le domaine continental

Les vasières visitées sont celles de Foundiougne, Sokone, Ndangane Sambou, Palmarin Nguéthie, Bakadadji, et de Missirah. Le stock de surface a donné une vase argileuse grise mélangée de matière organique. Le premier niveau oscille entre 10 et 47cm selon les endroits et révèle un sable argileux avec racines de mangrove, une vase argileuse avec une forte teneur en argile contenant de la matière organique. Le niveau 2 va de 30 cm à 70 cm et présente une vase argileuse noire et de la matière organique, tandis que le niveau 3 au de-là de 70 cm, fournit une vase argileuse ocre et en début de rubéfaction.

Les sigmoïdes ont la même allure redressée sauf à Ndangane Diène, où elles présentent plusieurs flexures et où les sables grossiers représentent 11 % du stock par rapport à plus de 50 % dans les autres sites. Le M_z et le $M\phi$ dépassent partout 2 et même allant jusqu'à plus de 5 à Ndangane Diène (5,953) et (5,998). L'indice de Hazen dépassant de loin 2,5 ; 4,050 à Palmarin Nguéthie, 16,414 à Ndangane Diène et 3,063 à Bakadadji, confirme le caractère varié de la granulométrie. Les autres indices de classement So , Si , $\sigma\phi$ et Qd sont tous négatifs à l'exception de So qui a atteint 3,362 à Ndangane Diène où le classement est mauvais.

L'asymétrie souligne l'excès en particules grossières dans trois sites Palmarin Nguéthie, Missirah et Bakadadji. L'allure de la courbe de l'échantillon de Vélor prouve que tous les sédiments sont grossiers, il ne s'agit pas donc d'une vasière à mangrove, mais d'une vasière dans la végétation à *Acacia seyal* sur le bas plateau du Continental Terminal. Le Kurtosis indique que le sédiment est bien trié dans deux sites : Palmarin Nguéthie et Missirah là où s'est remarqué l'excès en particules grossières. Enfin, le C_c n'est supérieur à 1 qu'à Palmarin Nguéthie.



Graphique 17: courbes granulométriques des vasières à mangrove dans le domaine continental.

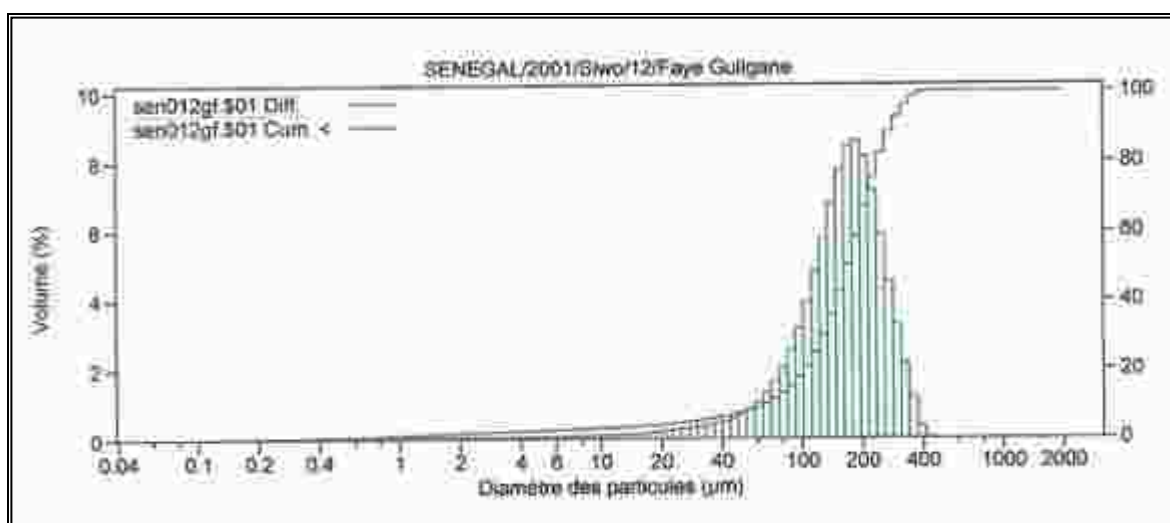
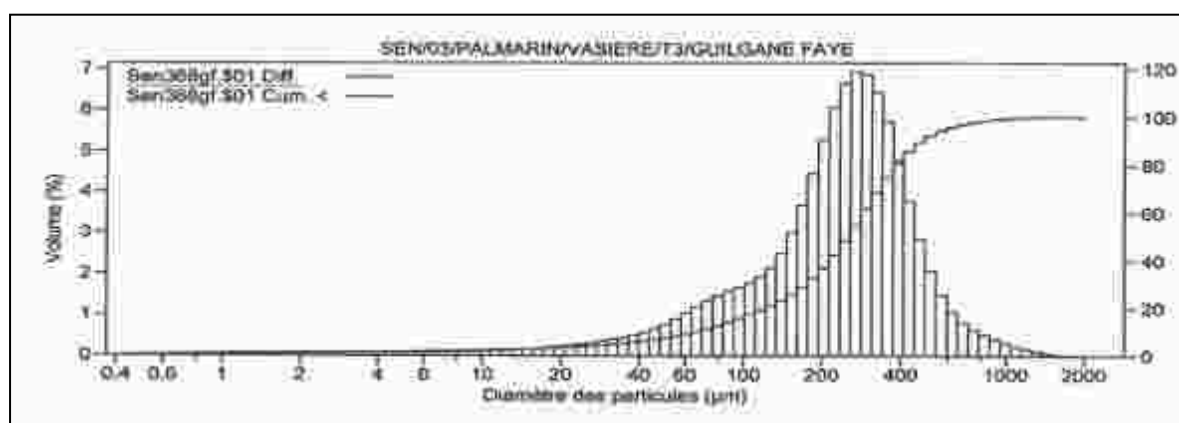
Tableau 76: paramètres texturaux des vasières à mangrove dans le domaine continental

Paramètres	Sites				
	Palmarin Nguéthie	Ndangane Diène	Missirah	Bakadadji	Vélor
Indice de classement					
Trask, So	1,594	3,362	1,594	1,834	7,429
Krumbein, Qd	-0,673	-1,749	-0,673	-0,875	-2,893
Inman, σ_ϕ	-1,009	-2,691	-0,942	-1,144	-4,307
Folk & Ward, σ_ϕ	-1,137	-2,630	-1,022	-1,102	-3,785
Hazen, Cu	4,050	16,414	2,789	3,063	45,883
Moyenne					
Trask, M	236,750	26,086	236,75	265,700	22,226
Folk & Ward, Mz	2,319	5,953	2,140	2,095	7,433
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, SkI	-0,377	-0,017	0,016	0,127	0,043
Coefficient d'acuité(Kurtosis)					
Folk & Ward, KG	1,270	0,993	1,106	0,819	0,763
Coefficient de courbure Cc	1,596	0,830	0,911	0,688	0,913

Dans les vasières à mangrove, les particules sont homogènes attestées par une distribution leptokurtique sauf à Ndangane Diène et Vélor où la vasière a atteint les acacias. Le Kurtosis varie entre 7,5 et -1,137 et le Skewness négatif donnent une dissymétrie à gauche.

Tableau 77: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Vasières à mangrove (Domaine continental)

Paramètres	Sites				
	Palmarin Nguéthie	Ndangane Diène	Missirah	Bakadadji	Vélor
Volume en %	100	100	100	100	100
Ecart- type	2,718	5,63	2,419	2,389	11,18
Skewness	-2,218	0,0839	-2,009	-1,29	0,0341
Kurtosis	7,572	-0,686	8,528	5,224	-1,137
Surface spécifique cm ² /ml	1118	12632	761,6	567,5	79969



Graphique 18: Courbes leptokurtiques des sédiments à Palmarin et à Siwo

6.1.5. Les tannes

6.1.5.1. Localisation et caractérisation

Les tannes (terme vernaculaire sérère signifiant blanc) désignent «des étendues sans végétation à l'arrière des mangroves, qui ne sont pas atteintes par la submersion quotidienne, sauf avec de très grandes marées, mais subissent une alternance d'inondation et d'assèchement que favorise le climat tropical » (Vieillefon J., 1968).

Sadio S (1991) définit les tannes comme « toute surface nue ou couverte de végétation mais affectée par une salinité qui ne permet pas son utilisation agricole.

Certains géographes comme Marius C. (1985), Sadio S. (1991), les classent en plusieurs types :

- tannes inondés: submergés régulièrement à marée haute ;
- « tannes vifs nus »: étendues sursalées dépourvues de végétation ».

Elouard P et *al* (1977), les représentent comme « des basses terrasses caractérisées généralement par une faune typique (*Anadara senilis*, *Dosinia isocardia*) et qui ont été subdivisées en deux :

- tannes nus (inondables et à efflorescences salines).
- tannes herbus ou herbacés ».

Selon Marius, Diop S et *al*, « à l'échelle des Rivières-du-Sud, les tannes sont considérés comme un marqueur de la dégradation d'origine anthropique ou naturelle de la végétation de mangrove ».

Dans le delta du Saloum, le tanne est considéré comme entièrement lié aux conditions hydro pédologiques (Sadio S, 1991). L'association mangrove-tanne est omniprésente au sein des 200 000 ha du Sine-Saloum ; in Ackermann G et *al* (1999).

Deux pédologues de l'ORSTOM Vieillefon J (1977), Marius C (1979), ont démontré que la sécheresse qui a frappé l'ensemble de la sous-région est à l'origine de l'extension des tannes au Sénégal.

Sadio S (1991) confirme que les déficits pluviométriques et l'intense évaporation provoqués par les températures élevées expliquent cette extension. Cependant ce n'est que vers les années 1980 que les études se sont intensifiées ».

La répartition des tannes obéit à plusieurs facteurs comme la disparition de la mangrove, l'expansion des eaux salées sur le bas plateau du CT, la durée et l'importance de la submersion. Sur ce dernier point, Turmine Vincent (juin 2001) confirme que « l'importance des submersions marines peut se faire ressentir à travers la nature de la texture sédimentaire.

Ainsi, dans les sols à dominante argileuse, l'absence prolongée de submersion rend imperméable la surface et favorise la formation de tannes.

Au contraire, les sables permettent un lessivage plus important et favorise donc la maturation du sol. Ils permettent aussi par leur nature perméable, une alimentation par les nappes phréatiques ».

Sur le plan morphologique, ils correspondent à la partie légèrement soulevée des slikkes et leur zonation, en fonction de la topographie est nette.

Quant aux tannes herbus, ils correspondent au schorre, isolés de toute influence des marées et se raccordent aux tannes nus par petit talus à pente infime 0,01 % dont la dénivellation est très faible (entre 40 et 60 cm). Ces unités existent presque partout dans le domaine insulaire et au long des lignes principales.

Au niveau du marigot de Ndangane, les tannes longent la partie interne et sont entrecoupés de mangrove dégradée ou de cordons comme au droit de Mar Fafaco et au niveau du méandre à Djilor et continuent jusqu'au village de Djilor. Ils sont bien développés à l'ouest de Simal.

Ndong A (2005) les distingue à l'Est de l'axe Roh-Djilass où une vaste terre nue sépare les bolongs. Seuls les bas-fonds et les plaines possèdent une couverture herbacée. Ces tannes prédominent autour des salins de ce même axe. -« tannes herbus » ou « tannes herbacés » : ils se trouvent à l'Ouest de l'axe Diofior-Djilass. Les prairies halophytes se rencontrent surtout le long de la vallée de Mbissel, au sud de Djilass, le long de la route Ndiosmone Ndangane, à Ngarigne et à l'ouest de Ngarigne Nanoh jusqu'à la limite occidentale de la Commune de Djilass. Beaucoup de rizières sont transformées en tannes herbus comme celles du terroir de Djilass.

C'est le constat fait par Ndong A (2005) « les rizières sont peuplées pour l'essentiel d'espèces halophiles comme *Borreria verticillata* (murax), *Heliochoris mutada* et *Heliochoris caribea* (rokaandook) dont le désherbage pose d'énormes difficultés aux femmes. On y rencontre aussi *Paspalum vaginatum* (keleet), principal adventice du riz.

Nous pouvons également retenir sur ces terres rizicultivables, d'autres espèces comme *Sesuvium portulacastrum* et *Philoxerus vermicularis*. Ces deux dernières espèces acceptent une salinité très forte « 3 à 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer » alors que *Heliochoris* correspondent à des espèces « d'eau saumâtre » (Marius C 1985). Dans le terroir de Faoye, les tannes nus longent le bolong de part et d'autre et s'étendent jusqu' à Ndjonda.

Dans le terroir de Fayil, la rive droite du Nganassaw- khabak, est recouverte de vastes tannes nus; pour preuve, le village de Sakhor est à découvert dans les vastes étendues recouvertes de sel après la disparition de la mangrove dans les années 1970.

Tout autour de Diamniadio, les tannes herbus sont gagnés sur les rizières jusqu' à Ndimsiro à l'ouest. Dans cette île la toposéquence – cordon, tanne herbu, tanne nu et chenal – est respectée.

Mais ces unités sont plus développées le long des grandes lignes comme le Sine, le Saloum, le Diomboss et le Bandiala.

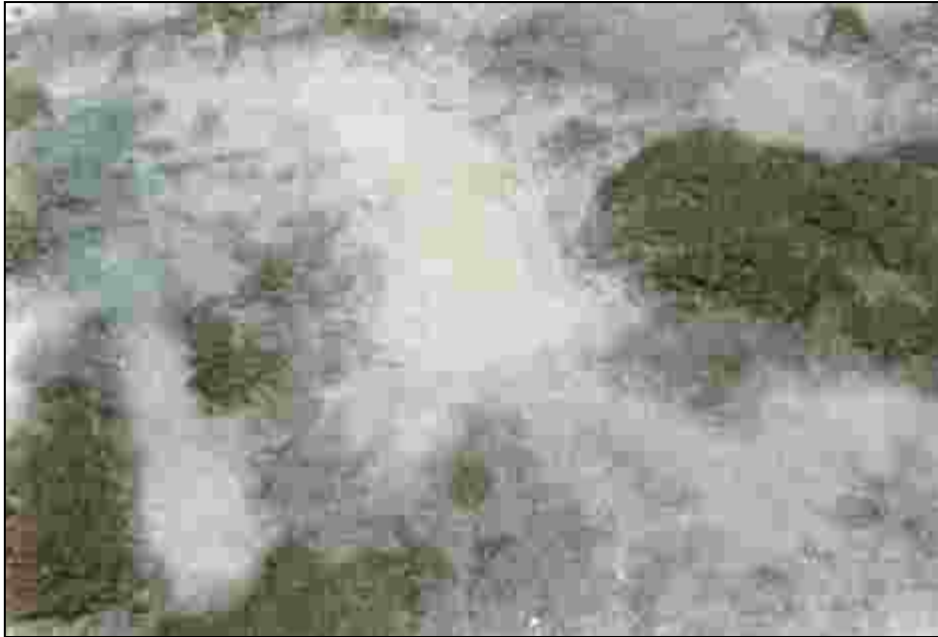
La salinisation des terres a donné naissance aux tannes que l'on retrouve presque partout dans la région au voisinage des villages de Mbaout, Rofangué, Vélingara à l'Est de Gagué Bocar, à l'Ouest de Thiaré... l'extension des tannes incultes a fait que beaucoup de terres de cultures sont abandonnées.

Dans l'ensemble du Département de Foundiougne, se rencontrent des phénomènes de dégradation des sols et de remontée du sel, occasionnant l'extension apparente des tannes qui couvrent déjà 265 000 ha aux dépens des terres de cultures.

Ainsi, le long de la ligne du Sine, de Foundiougne à Fatick, un filet de tannes nus accompagne les deux rives jusqu'à la latitude de Niam diarokh 14°10'440''N où une savane à acacias borde le marigot à l'ouest jusqu'au quai de Fayako 14°11'220''N. Dans le secteur de ce village, les tannes sont à découverts à marée basse sous forme de banc de sable. Toutes les rizières sont transformées en tannes et ce scénario dépasse la confluence avec le Kal de Keur Barka 14°12'258''N en suivant les unités morphologiques : bas plateau du CT, vasière à touffes d'*Avicennia* et tanne nu. Tous les méandres du Sine, sont bordés de tannes nus très vastes, le plus souvent gagnés sur le bas plateau du CT ; comme témoins, les acacias et les baobabs se retrouvent en plein tanne. Ce scénario de paysage monotone arrive jusqu' à Fatick.

Après le pont sur le Sine, et en direction de Ndiémou, le mince filet d'eau sursalé est limité sur les deux rives par de vastes tannes nus et herbus en quatre grands segments : Khadaff, Souska, Dialgué et Tanno Mack 14°23'142''N/16°21'410''W ; fin de ce taxon sur le Sine, remplacé par le bas plateau du CT recouvert de dunes ogoliennes au faciès de plaine sableuse.

Photo 15: tanne nu à Diagl   (le long du Sine) : taches blanches de sel.



Cliché Faye G (2008)

Photo 16: tanne nu    Tanno Mack (village de Ndiémou le long du Sine) :Taches blanches de sel.



Cliché Faye G (2008)

Le long du Saloum- parties continentale et insulaire -, les tannes se manifestent dès les villages Palmarin entre Diakhanor et Nguéthie et tout autour de Ngounoumane. Ces tannes se forment aux dépens du bas plateau du CT, comme preuves, *Detarium senegalensis* en plein tanne et *Adansonia digitata*, *Tamarindus indica* et *Acacia albida* à la limite. Dans ce terroir, les champs de mil sont touchés par les eaux salées.

Les espaces nus se raréfient jusqu'à Djirnda 13°59'064''N/16°37'120''W où ils occupent de vastes étendues au Nord et à l'Ouest du village, au Nord-ouest de Rofangué 14°04'304''N/16°32'210''W et entre ce village et Mbaout au sud. En 2006, le village de Rofangué était éloigné des eaux par un tanne nu de 2 km de large ; mais actuellement en 2012 il est déplacé plus au sud, les eaux de la grande marée annuelle inondent les maisons situées plus au nord. A partir de Rofangué, la mince bande de tannes nus longe les deux rives jusqu'à la latitude de Ndolette 14°08'750''N et après une rupture sur un long segment, occupé par un vaste tanne nu séparant Thiaré de Foundiougne se terminant au nord par une digue de protection. Cette digue fait suite à un vaste tanne herbu avant le cordon sur lequel est bâti le village de Thiaré. Le système de tannes nus réapparaît de Ndangane Diène 14°09'201''N, à Lyndiane et le même scénario se poursuit jusqu'à Kaolack 14°07'097''N. De Kaolack à Latmingué, les tannes nus couvrent d'énormes espaces sur le bas plateau du CT surtout au Nord de Nawdourou 14°05'N/15°51'W. Dans ce terroir, *Acacia seyal* se retrouvent dans les tannes. Enfin, de Maka- Kahone à Keur Mboucki, les tannes nus et les tannes herbues, ont jalonné le Saloum sur les deux rives, mais les eaux salées s'arrêtent au pont de Birkelane-Diamal. La vallée fossile continue jusqu'à l'Est de Bankou Dinka à 412 km de Djifère. Se remarque une extension des tannes sur la savane ; les acacias sont en plein tanne derrière le village Keur Aladji Kharendère.

Photo 17: extension de tanne sur la savane à acacias. (Les acacias sont en plein tanne derrière le village Keur Aladji Kharendère.)



Cliché Faye G (2008)

Le long du Diomboss, le système tanne nu- tanne herbu est bien développé entre Sokone et Limane à l'Ouest. Le ruissellement à partir du cordon, a engendré leur ensablement et de celui des fonds du chenal au-dessous du pont entre ces deux villages. Dans ce secteur la chrono- séquence est respectée et la cuirasse du Continental Terminal est submergée à l'Est de Limane par extension de la largeur du bolong. De maigres espaces nus peuvent se remarquer derrière les villages saisonniers, comme à Doflé qui a été déserté pour cause de salinité depuis 1990.

Au début des bouches du Léba, les rares tannes se rencontrent entre Djinack Bara et Djinack Diatako et vers la frontière de la Gambie. D'autres apparaissent à la latitude 13°41'232''N sur la rive ouest et au niveau du village de Sipo 13°45'N/16°30'W. D'autres tannes nus sont découverts à marée basse sur la rive nord, de la latitude 13°45'490''N à la latitude 13°45'795''N, enfin à l'entrée occidentale de Toubacouta jusqu'à Sourou.

Le long du Bandiala, à partir du point 13°39'264''N/16°33'819''W, la dégradation est moins importante jusqu'au point 13°39'183''N/16°33'970''W.

Les étendues nues de tannes prennent le relais au point 13°39'264''N/16°33'819''W et arrivent à la limite 13°39'410''N/16°33'544''W. Des poches de tannes nus s'isolent autour des localités de Dassilamé, de Néma Ba, et entre Ndiouffène et Sokone.

Dans le domaine insulaire, ils constituent le deuxième taxon entre le cordon du village et la vasière à mangrove ; et ce scénario est presque identique dans toutes les îles.

En dehors de cela, ils sont visibles dans plusieurs secteurs :

- à la confluence bolong de Sangako-Diomboss au site d'un ancien village déserté Guira
- à Thialane, à Bassar, à Bassoul, à Moundé, où les anciennes rizières sont devenues des tannes herbus ou des terrains de Football.

6.1.5.2. Sédimentologie

Diara M (1999) caractérise les tannes au point de vue sédimentologique par « une couche de sable argileux plus ou moins riche en pélites suivant la proximité du sondage par rapport aux vasières et aux cordons ; cette couche est généralement ou uniquement sableuse près des cordons, elle peut contenir 60 à 70 % de pélites près des vasières ». Selon ses analyses, « les tannes contiennent des sédiments riches en quartz, auxquels sont associés du gypse, de la jarosite, des argiles. Dans les tannes les plus septentrionaux, on trouve de gros cristaux de halite. En profondeur, la jarosite et les oxydes ferriques disparaissent. Il y a peu de matière organique. On trouve parfois des débris coquilliers ».

Enfin, Diara M (1999) a daté des huîtres prélevées dans le sondage de Diogane ; cette datation fait l'objet de ce tableau 87.

Tableau 78: Datations de coquilles d'huîtres prélevées de tanne

sites	Profondeur en cm par rapport à la surface	Fossiles	Date calibrée
Diogane 25 S1	-10	huîtres	580 ans +/- 60 BP
Diogane 25 S2	-35	huîtres	400 ans +/- 60 BP.

Diara M (1999)

Cette datation donne aux tannes un âge compris 400 et 580 ans BP, ce qui est largement inférieur aux autres datations faites par Marius C (1985)

Dans les sondages les plus septentrionaux (Fatick et Foundiougne), faits par Marius C (1985) cité par Diara M (1999) « des niveaux jaunes très caractéristiques ont pu être observés ; ils sont très riches en jarosite.

Lorsqu'il n'y a pas de jarosite, cette couche fortement oxydée, de couleur orangée et d'une épaisseur de plusieurs dizaines de centimètres, contient parfois des racines fossilisées en racines ferrugineuses: les iron - Pipes ».

6.1.5.2.1. Tannes nus

a. domaine insulaire

Ces vastes étendues existent partout, mais moins représentées dans les îles de Bétenty de Djinack et le long du Léba.

Nos échantillons proviennent des tannes nus de Moundé, Falia, Bassoul, Bassar, Thialane, Djirnda, Diamniadio, Mar Fafaco, Mar Lodji, Fayako, Diogane, Niodior, et de Dionewar.

Leurs sédiments comprennent en surface du sable noir fin contenant des cristaux de sel, au niveau 1, du sable ocre argileux et de la matière organique, au niveau 2, du sable argileux rubéfié avec forte teneur en argile, enfin, au niveau 3, de la vase argileuse rouge avec faible teneur en matière organique. Cet horizon atteint parfois 1m de profondeur.

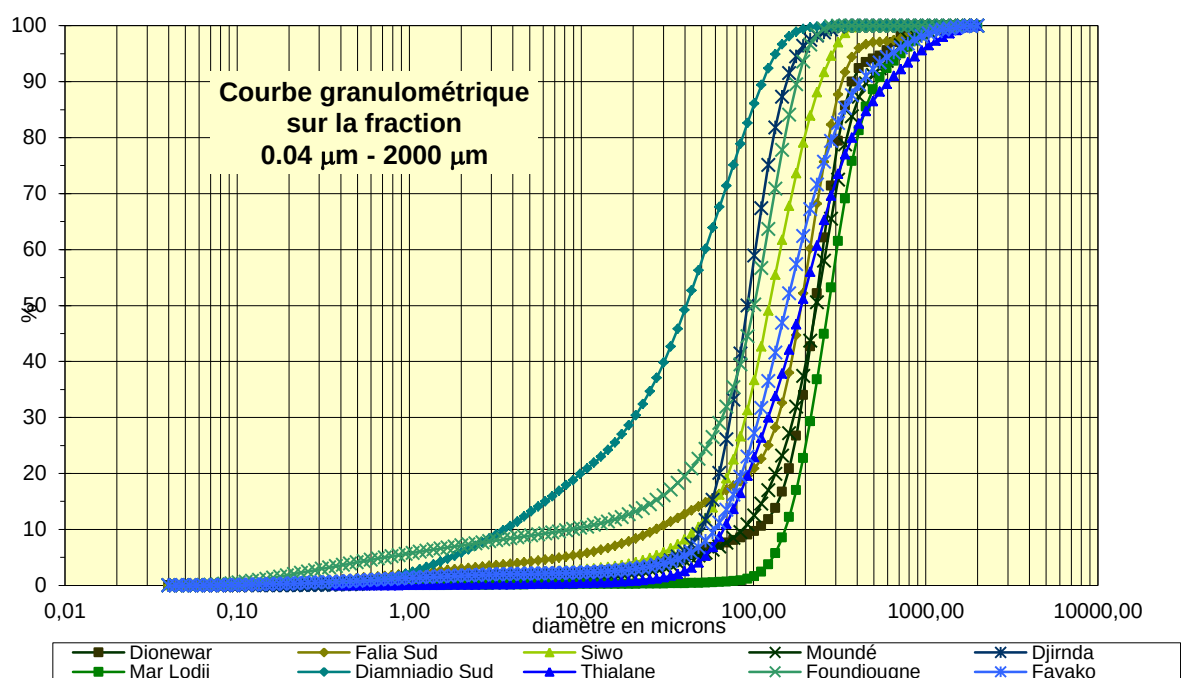
Les sédiments sont concentrés dans la fourchette 0,040 à 2000 μm avec une prédominance des sables grossiers de Dionewar à Siwo ; plus de 50 % dans ces 2 sites ; cela donne des sigmoïdes presque identiques et légèrement obliques avec une longue queue formée d'argile et de silts.

Le diamètre du grain moyen a dépassé 2 sauf à Mar Lodji 1,961 ; il a atteint des pics 5,101 à Diamniadio Sud. L'indice de Hazen Cu a suivi la même tendance, dépassant 7 à Falia, 13 à Diamniadio sud et à Foundiougne. Il indique que la granulométrie est variée dans l'ensemble à l'exception de Djirnda et de Mar Lodji, où elle est homogène.

Les indices S_i , σ_0 et Q_d partout négatifs, attestent du caractère très bon du classement. L'asymétrie souligne l'excès en particules grossières sauf à Thialane Sud et à Mar Lodji.

Le K, le K_g et K_0 presque partout supérieurs à 1 confirment le bon tri du sédiment.

Enfin, le C_c a dépassé 1 dans l'ensemble des échantillons.



Graphique 19: courbes granulométriques des tannes nus dans le domaine insulaire.

Tableau 79: Paramètres texturaux des tannes nus dans le domaine insulaire.

Paramètres	Sites				
	Falia	Siwo	Moundé	Thialane	Djirnda
Indice de classement					
Trask, So	1,386	1,521	1,452	1,750	1,386
Krumbein, Qd	-0,471	-0,605	-0,538	-0,807	-0,471
Imann □□	-1,144	-0,942	-0,875	-1,211	-1,144
Folk & Ward, □□	-1,428	-1,001	-1,008	-1,238	-1,428
Hazen, Cu	7,784	3,062	3,061	3,362	7,784
Moyenne					
Trask, M	177,950	126,615	228,200	205,350	87,205
Folk & Ward, Mz	2,813	3,127	2,274	2,499	3,486
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	2,457	1,185	1,435	1,059	1,229
Coefficient de courbure Cc	3,689	1,206	1,206	1,097	1,000

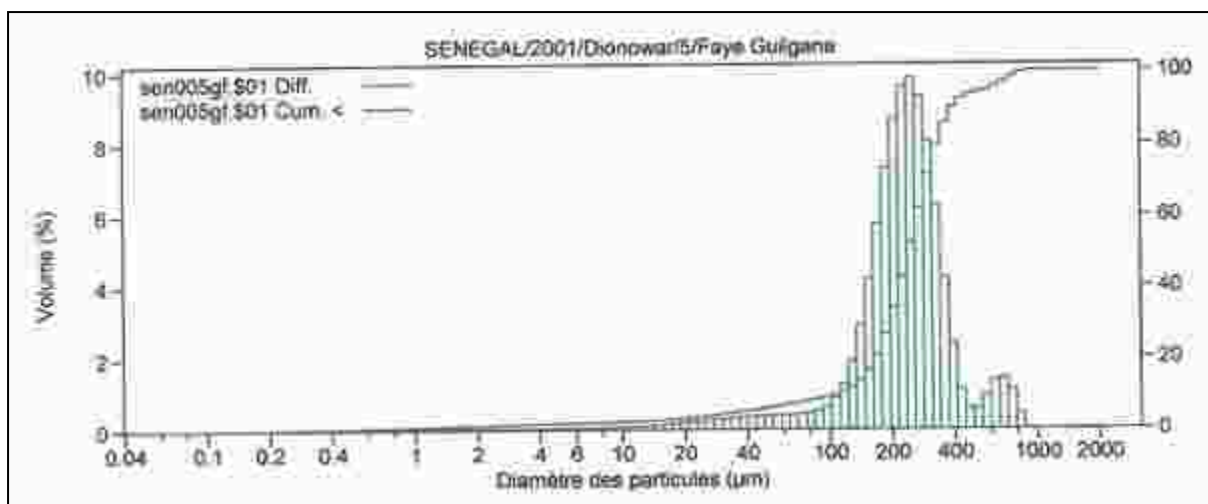
Tableau 80: Paramètres texturaux des tannes nus dans le domaine insulaire.

Paramètres	Sites			
	Mar Lodji	Diamniadio	Foundiougne	Fayako
Indices de classement				
Trask, So	1,323	2,210	1,594	1,594
Krumbein, Qd	-0,404	-1,144	-0,673	-0,673
Folk & Ward, ϕ_{ϕ}	-0,673	-1,884	-1,211	-1,076
Inman, ϕ_{ϕ}	-0,724	-1,900	-1,829	-1,150
Hazen, Cu	1,922	13,620	13,625	3,060
Moyenne				
Trask, M	267,000	41,940	93,165	163,095
Folk & Ward, Mz	1,961	5,101	3,800	2,768
Coefficient de dissymétrie				
Folk & Ward, Ski	1,298	1,133	2,460	1,229
Coefficient de courbure Cc				
	1,098	2,109	4,446	1,001

Tableau 81: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Tannes nus (domaine insulaire)

Paramètres	Dionew	Falia	Siwo	Moun	Thial	Djirn	Mar Lodji	Diam	Fou nd
Ecart- type	2,668	3,875	2,634	2,659	2,151	1,726	3,751	5,024	3,048
Skewness	-3,592	-2,541	-3,013	-2,95	-3,708	-1,039	-1,021	-2,363	-2,51
Kurtosis	17,89	7,715	13,18	14,89	20,03	10,57	0,388	5,148	12,2
Surfa cm²/ml	2456	5944	2868	2023	2079	291, 6	6675	17150	3798

Dans le domaine insulaire, le Kurtosis partout positif et le Skewness négatif, attestent de l'homogénéité des particules dans les tannes nus. Le tanne nu reçoit beaucoup de sédiments originaires de certains cordons ou du bas plateau du CT ou bien c'est le plateau qui est transformé en partie en tanne; cela explique la prédominance des particules grossières.



Graphique 20: Courbes leptokurtiques des sédiments à Dionewar.

b. le long du Saloum

Le long du Saloum et de ses défluent du nord, les tannes nus sont surtout perceptibles à Faoye, Fayil, Fimela, Djilass, Foundiougne, Ndangane Diène, Gamboul, Kahone, Nawdourou, Latmingué, Sassara, Nianiandé, Ndimsiro, Ndangane Sambou, Palmarin Nguéthie, Palmarin Diakhanor.

L'échantillonnage de surface a révélé par endroits de zéro à 28 cm et même jusqu'à 35 cm, un sable noir fin avec des cristaux de sel un sable grossier légèrement rubéfié un sable fin rouge à partir cordon par érosion et une vase argileuse contenant des coquilles et de la matière organique.

Le niveau 1 va de 10 à 35 cm et même 55 cm, et renferme du sable argileux rouge avec débris de racines de mangrove, mais surtout, une vase argileuse noire ou ocre mélangée de matière organique.

Le niveau 2 de 30 cm à 60 et parfois jusqu'à 1 m (Nianiandé), renferme en général, une vase argileuse avec une forte teneur en argile.

Le niveau 3 dépasse les 80 cm et donne souvent un sable noir argileux là où les tannes sont gagnés sur le bas plateau du CT, comme à Kahone et à Nawdourou. Se rencontre aussi, une vase argileuse ocre.

Le stock sédimentaire est compris dans la fourchette 0,375µm à 2000 µm avec une concentration autour de 100 µm pour la plus grande partie des sédiments dont le grain moyen M_z et M_0 varie entre 1,7 du SW Gamboul et 4,754 à Keur A Kharendère. Toutes les courbes sont obliques sauf à Faoye où elles présentent trois flexures.

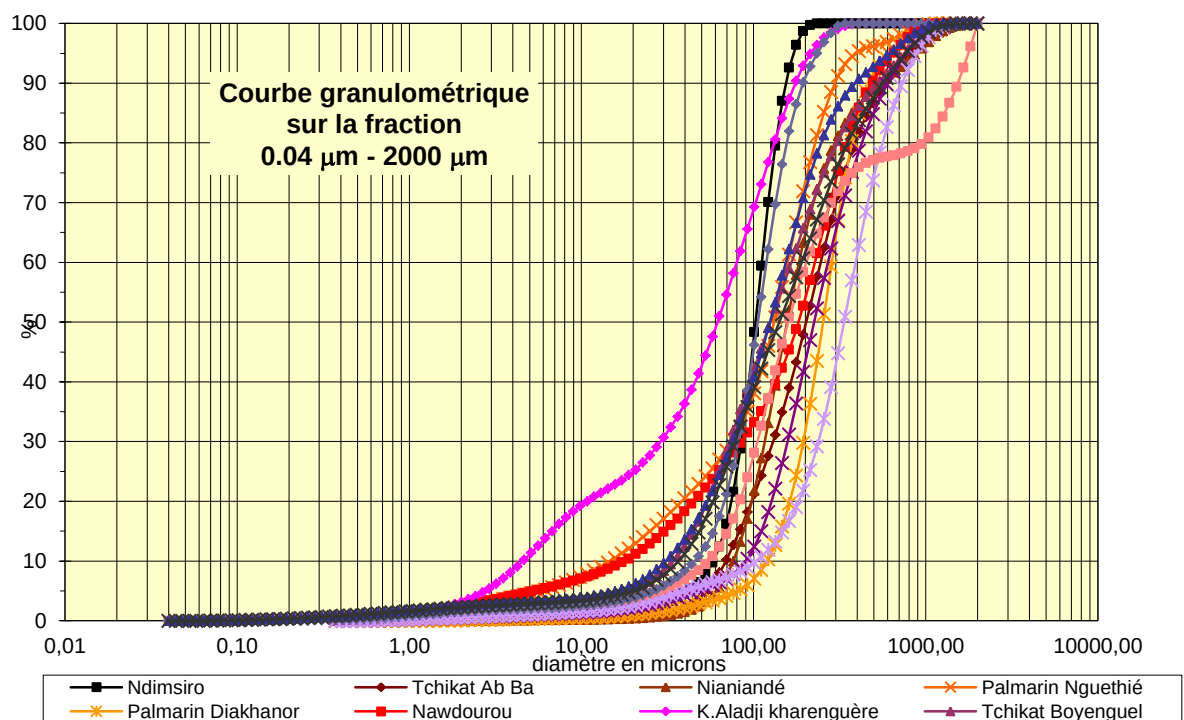
Le Hazen Cu confirme une granulométrie variée sauf à Nianiandé (2,315) et à Ndimsiro (1,921) localités où les tannes sont gagnés sur le bas plateau de CT.

Les autres indices tous négatifs sauf le $So > 1$, indiquant un classement relativement bon sur toute la longueur du Saloum.

L'excès en sédiments grossiers se remarque partout sauf dans les sites de Palmarin Nguéthie, Nianiandé, Keur A Kharendère, même si le Ski est parfois négatif.

Le Kurtosis partout supérieur à 1 sauf à Kahone (0,999) et à Tchikat Boyenguel (0,999) prouve que le stock sédimentaire est bien trié dans l'ensemble.

Le Cc varie 2,315 à 0,911 de Palmarin Nguéthie à Tchikat Boyenguel.



Graphique 21: courbes granulométriques des tannes nus dans le domaine continental.

Tableau 82: Paramètres texturaux des tannes nus le long du Saloum.

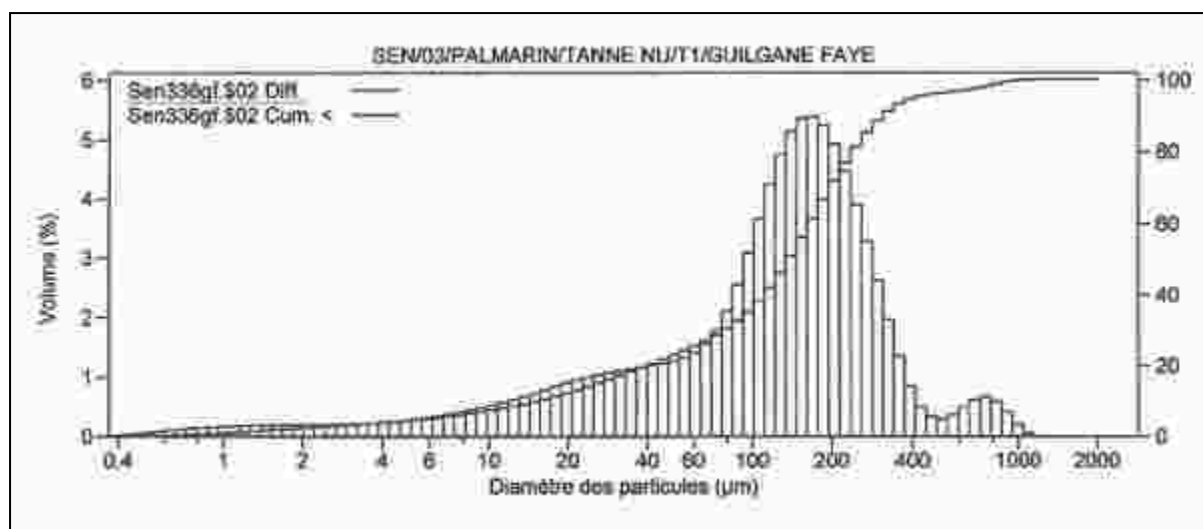
Paramètres	Sites				
	Pal Ngué	Pal diakh	Faoye	Fayil	Sassara
Indice de classement					
Trask, So	1,921	1,386	2,013	1,386	1,921
Krumbein, Qd	-0,942	-0,471	-1,009	-0,471	-0,942
Inman $\square\square$	-1,548	-0,673	-2,019	-0,740	-1,548
Folk & Ward, $\square\square$	-1,691	-0,785	-1,907	-0,860	-1,691
Hazen, Cu	10,295	2,541	3,690	2,542	10,295
Moyenne					
Trask, M	123,41	258,300	232,595	101,660	138,305
Folk & Ward, Mz	3,441	2,095	2,140	3,351	3,127
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	1,317	1,287	1,202	1,406	1,230
Coefficient de courbure Cc	2,315	1,204	1,000		1,098

Tableau 83: Paramètres texturaux des tannes nus le long du Saloum.

Paramètres	Sites				
	K el kh	Nianiandé	Ndimsiro	Nawdourou	Tch A Ba
Indice de classement					
Trask, So	2,109	1,522	1,262	2,210	1,670
Krumbein, Qd	-1,077	-0,606	-0,336	-1,144	-0,740
Inman σ_ϕ	-1,548	-1,009	-0,538	-1,750	-1,144
Folk & Ward, σ_ϕ	-1,569	-1,096	-0,575	-1,915	-1,163
Hazen, Cu	4,879	2,315	1,921	12,410	3,692
Moyenne					
Trask, M	172,755	167,600	99,110	169,935	210,300
Folk & Ward, Mz	2,858	2,633	3,396	2,948	2,409
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
Coefficient de courbure Cc	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320

Tableau 84: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Tannes nus le long du Saloum.

Paramètres	Pal Nguéthie	Pal diakh	Faoye	Fayil	Sassara
Ecart- type	3,742	1,977	4,355	2,345	3,613
Variance	14,01	3,907	18,96	5,5	13,06
Skewness	-1,411	-1,778	-1,032	-3,09	-1,896
Kurtosis	2,242	8,011	4,02	14,16	6,577
Surface spécifique cm ² /ml	2694	404	3880	2084	5027



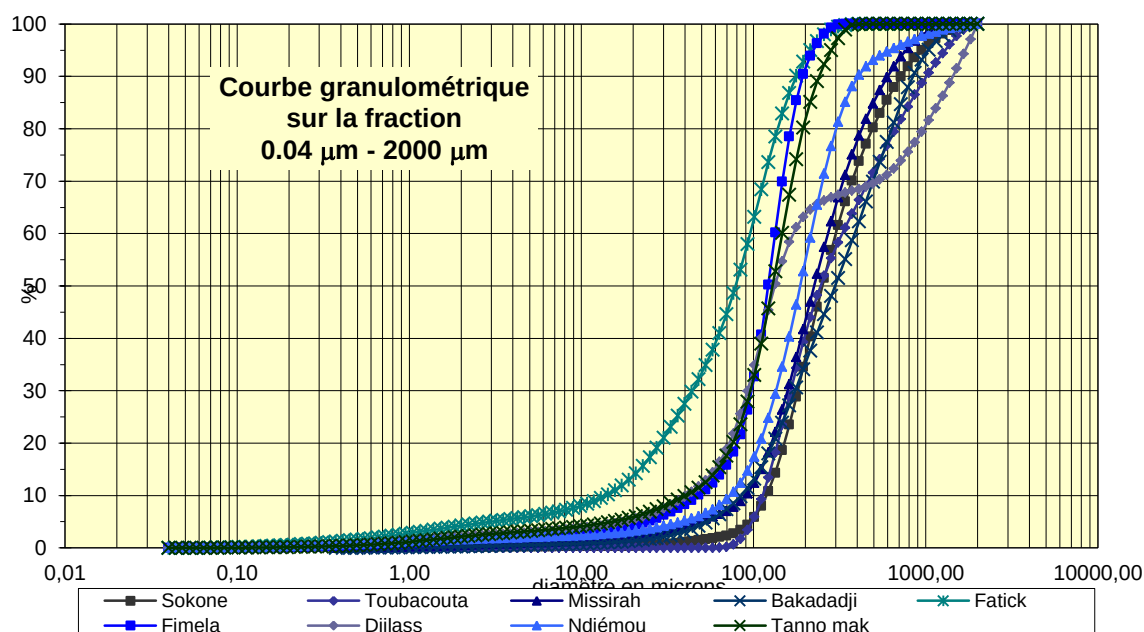
Graphique 22: Courbes leptokurtiques des sédiments à Palmarin Ngallou nord

c. le long du Sine, du Ndangane, du Diomboss, du Bandiala et du Guilor.

Le stock sédimentaire a pour origines Djilass, Fimela, Ndiémou, Tanno mak, Sokone, Bakadadji, Missirah et Toubacouta. Ce stock s'est concentré entre 40 μm et 400 μm pour la plupart des échantillons. Trois (3) des neuf (9) sigmoïdes sont presque à la verticale ; celle de Ndiémou, de Tanno mak, et de Fimela. Les autres sont obliques sauf celle de Djilass qui présente trois (3) flexures. Les M_z et le $M\phi$ ont dépassé 2 sauf dans 3 sites : Sokone, Bakadadji, Toubacouta.

Le Hazen varie entre 2,54 et 7,089, souligne le caractère varié de la granulométrie, avec un classement relativement bon, attesté par des paramètres partout négatifs sauf le So , supérieur à 1. Les coefficients de dissymétrie confirment un excès en particules grossières dans 5 sites. Le Kurtosis K_g et le $K\phi$ donnent un stock bien trié sauf dans les localités de Djilass (0,837 et 0,531), de Bakadadji (0,907 et 0,632) et de Toubacouta (0,820 et 0,474).

Enfin, le C_c est partout supérieur à 1 à l'exception des échantillons provenant de Sokone, Bakadadji et de Toubacouta.



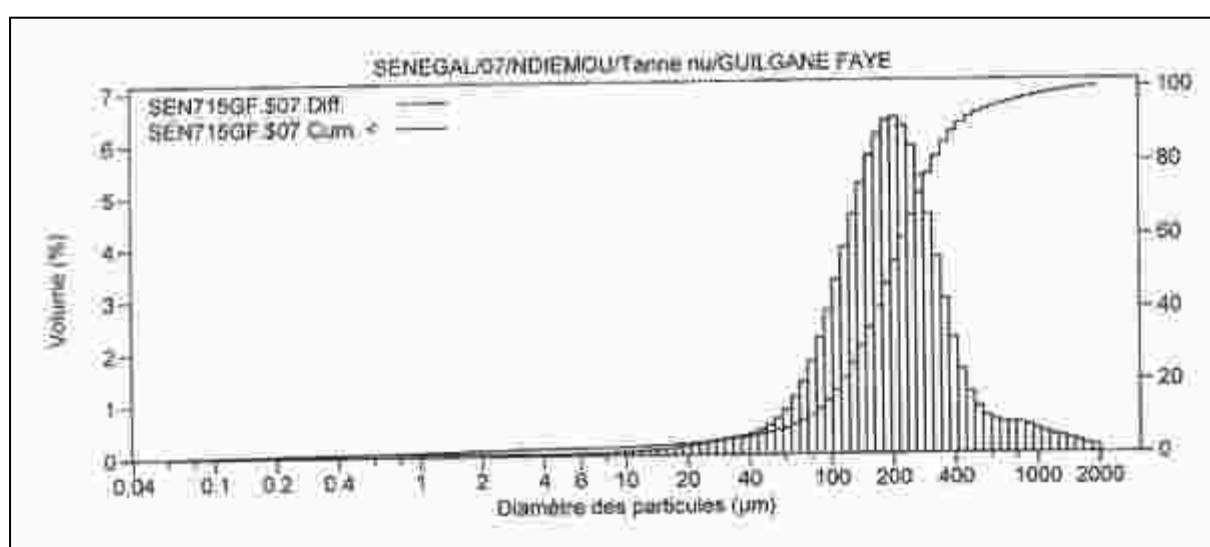
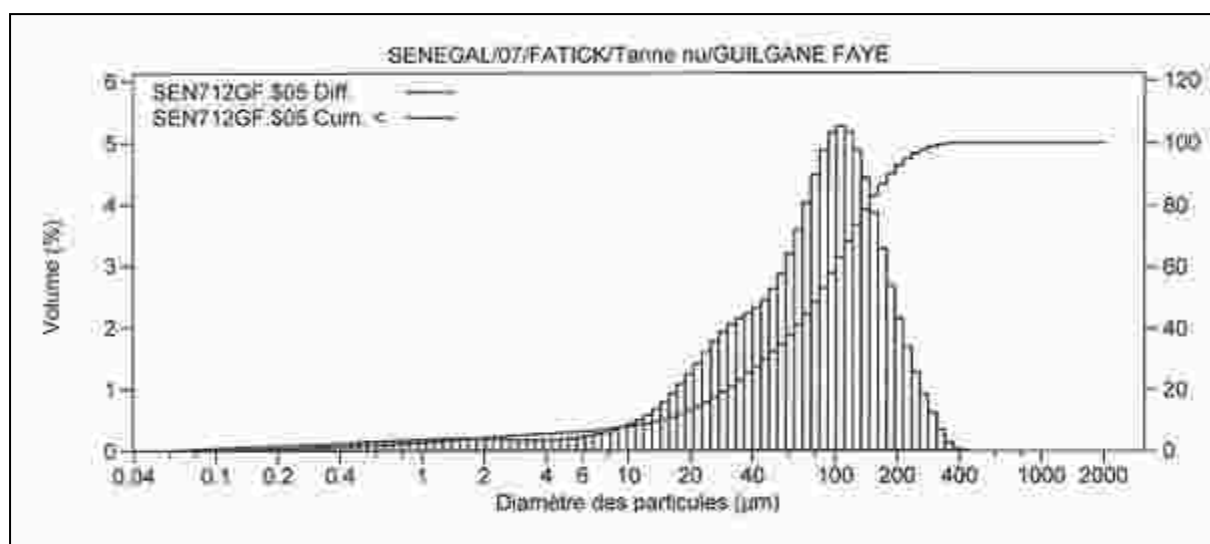
Graphique 23: courbes granulométriques des tannes nus le long du Sine, du Ndangane, du Bandiala et du Guilor

Tableau 85: paramètres texturaux des tannes nus dans les autres secteurs

Paramètres	Sites				
	Fatick	Ndiémou	Fimela	Bakadadji	Missirah
Indice de classement					
Trask, So	1,921	1,452	1,323	1,921	1,594
Krumbein, Qd	-0,942	-0,538	-0,404	-0,942	-0,673
Inman σ_ϕ	-1,346	-0,875	-0,606	-1,278	-1,009
Folk & Ward, σ_ϕ	-1,611	-1,049	-0,792	-1,271	-1,116
Hazen, Cu	7,089	3,062	2,790	4,447	3,061
Moyenne					
Trask, M	77,400	189,300	115,35	344,350	236,750
Folk & Ward, Mz	3,979	2,544	3,216	1,871	2,185
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	-0,411	-0,104	-0,264	-0,107	-0,033
Coefficient de courbure Cc	1,593	1,204	1,595	0,830	1,000

Tableau 86: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Tannes nus dans les autres secteurs

Paramètres	Fatick	Ndiémou	Fimela	Bakadadji	Missirah
Ecart- type	3,719	2,96	2,434	2,66	2,518
Variance	13,83	8,761	5,924	7,076	6,341
Skewness	-2,04	-2,824	-3,433	-1,124	-1,727
Kurtosis	5,105	13,89	15,41	3,354	6,963
Surface spécifique cm ² /ml	7820	3406	2405	559,4	786,5



Graphique 24: Courbes leptokurtiques des sédiments à Fatick, Ndiémou.

6.1.5.2.2. Tannes herbus

a) domaine insulaire

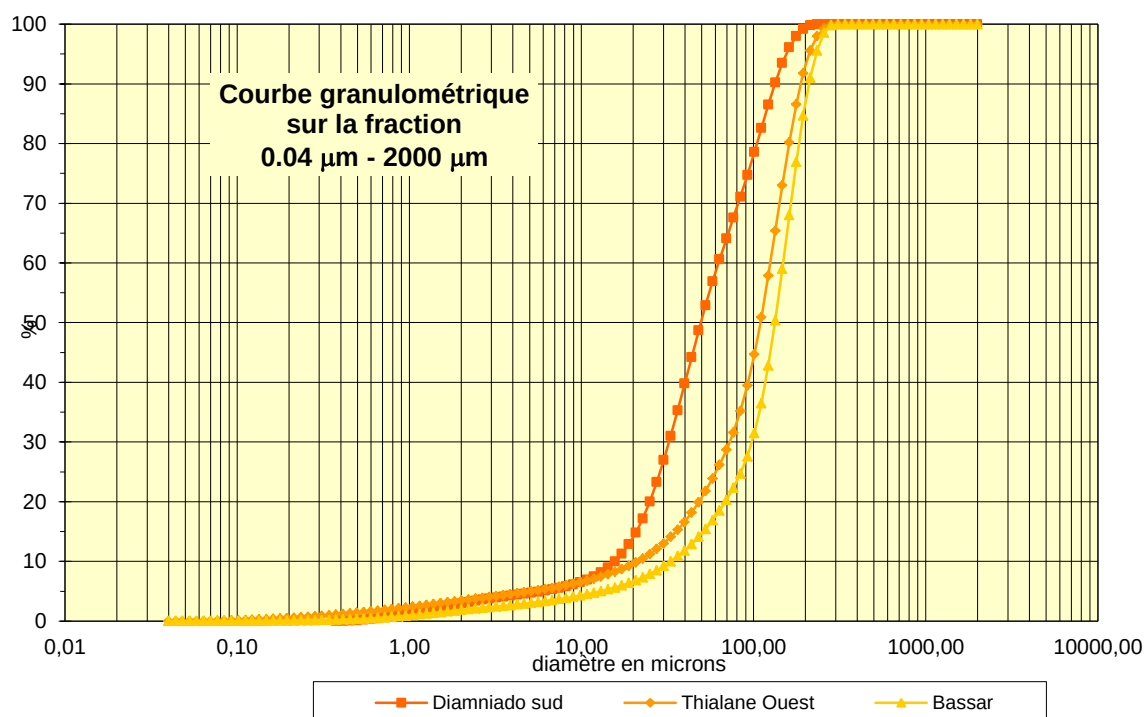
Ces tannes existent presque partout, les échantillons sont prélevés de ceux de Siwo, Falia, Bassoul, Bassar, Thialane, Diamniadio, et de Niodior.

De la surface à 20 cm, se rencontre un horizon sableux fin gris, au niveau 1 dépassant souvent les 40 cm, se remarque une vase argileuse très fine. Au niveau 2, cette vase argileuse ocre et très fine contient de la matière organique, des traces racines de mangroves et des débris de coquilles.

Le troisième niveau est beaucoup plus vaseux en profondeur et se note une forte teneur en matière organique.

Le stock sédimentaire est concentré entre les mailles 40 μ m-200 μ m avec prédominance des particules grossières dont le Mz et le M ϕ varient entre 3,2 et 4,3, le Hazen Cu partout supérieur à 3, dénote une granulométrie variée dans les tannes herbus insulaires.

Les courbes sont redressées sauf celle de Diamniadio dont la pente a traversé la fraction silteuse. Le So dépassant 1 et les autres indices étant tous négatifs, le classement est relativement bon. Les coefficients de dissymétrie, Skewness Sk-1 et Sk-2 confirment l'excès en particules fines, tandis que le Kurtosis atteste que le stock sédimentaire est bien trié.



Graphique 25: courbes granulométriques des tannes herbus dans le domaine insulaire.

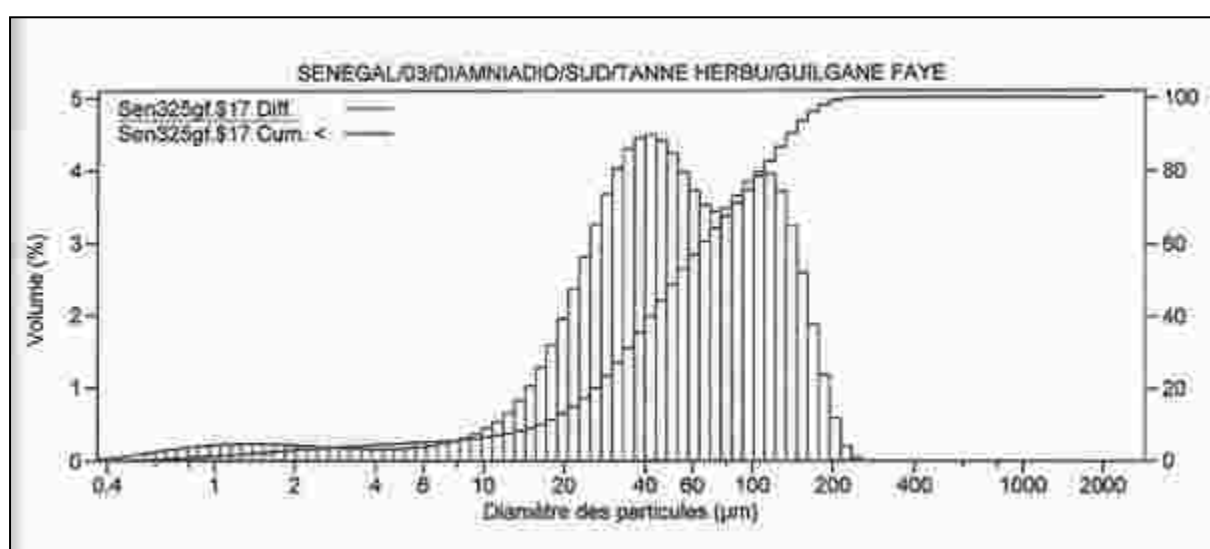
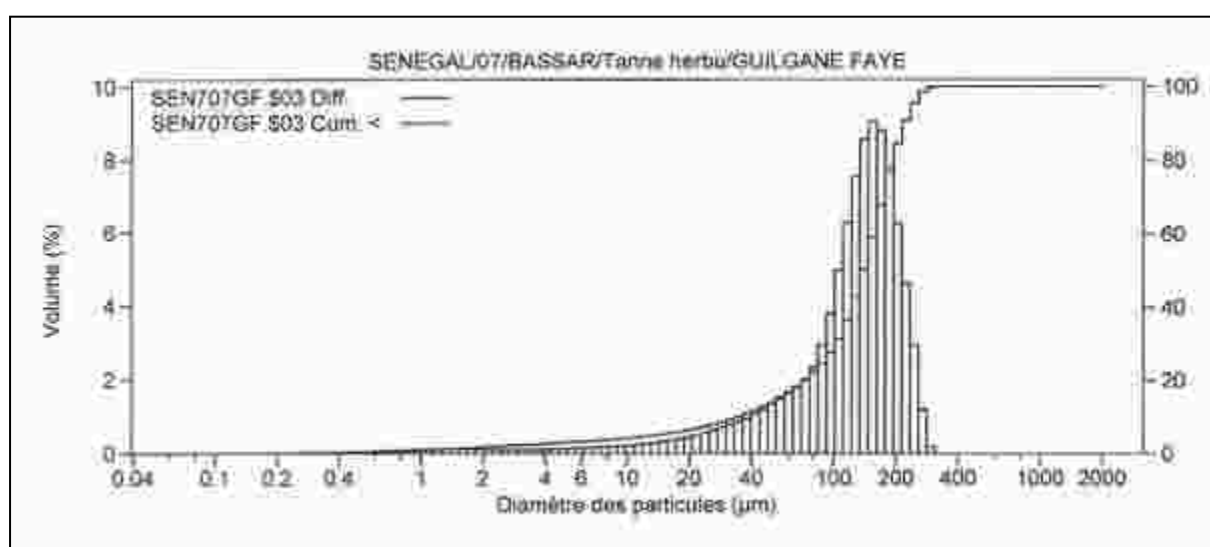
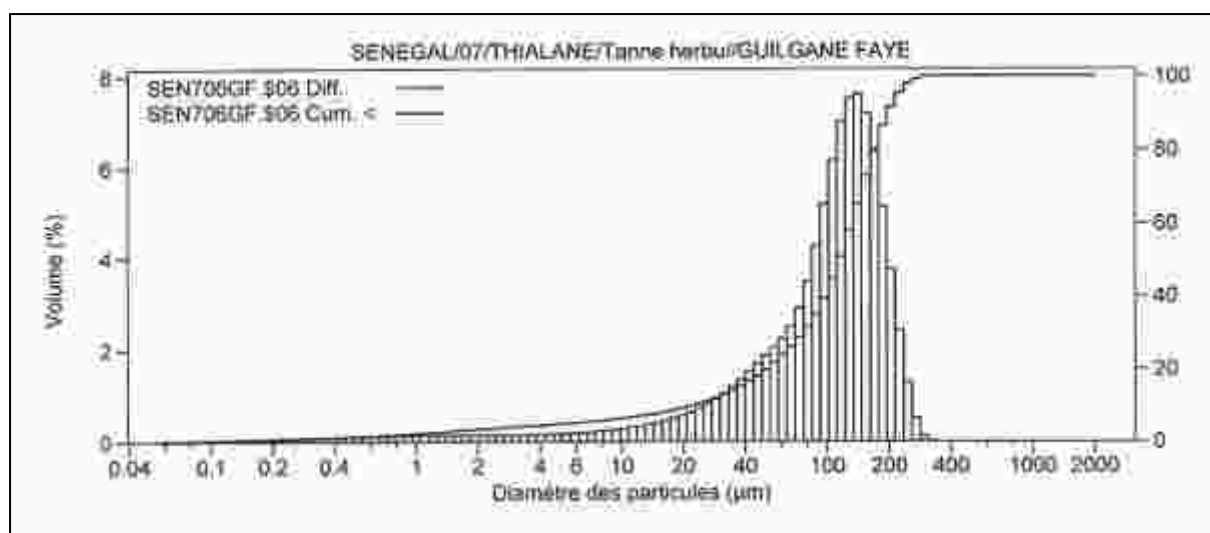
Tableau 87: paramètres texturaux des tannes herbus dans le domaine insulaire

Paramètres	Thialane W	Bassar	Diamniadio
Indice de classement			
Trask, So	1,594	1,386	1,834
Krumbein, Qd	-0,673	-0,471	-0,875
Inman, σ_ϕ	-1,077	-0,874	-1,211
Folk & Ward, σ_ϕ	-1,333	-1,069	-1,319
Hazen, Cu	5,884	4,448	3,691
Moyenne			
Trask, M	102,285	122,550	59,735
Folk & Ward, Mz	3,575	3,262	4,383
Coefficient de dissymétrie			
Folk & Ward, Ski	-0,508	-0,499	-0,157
Coefficient de courbure Cc			
	1,922	1,751	1,000

Tableau 88: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000 μ m Diamètre des particules des tannes herbus dans le domaine insulaire.

Paramètres	Thialane W	Bassar	Diamniadio
Ecart- type	3,469	2,786	2,84
Variance	12,04	7,764	8,065
Skewness	-2,628	-2,757	-1,594
Kurtosis	7,955	9,297	3,678
Surface spécifique en cm ² /ml	6732	2735	3681

Dans le domaine insulaire, les valeurs prises au niveau des tannes herbus par le Kurtosis et le Skewness, attestent d'une dissymétrie à gauche et d'une distribution leptokurtique homogène. Dans certains secteurs, ces tannes herbus sont progressivement envahis par les eaux salées en provenance des tannes inondés.



Graphique 26: Courbes leptokurtiques des sédiments à Thialane, Bassar et à Diamniadio sud

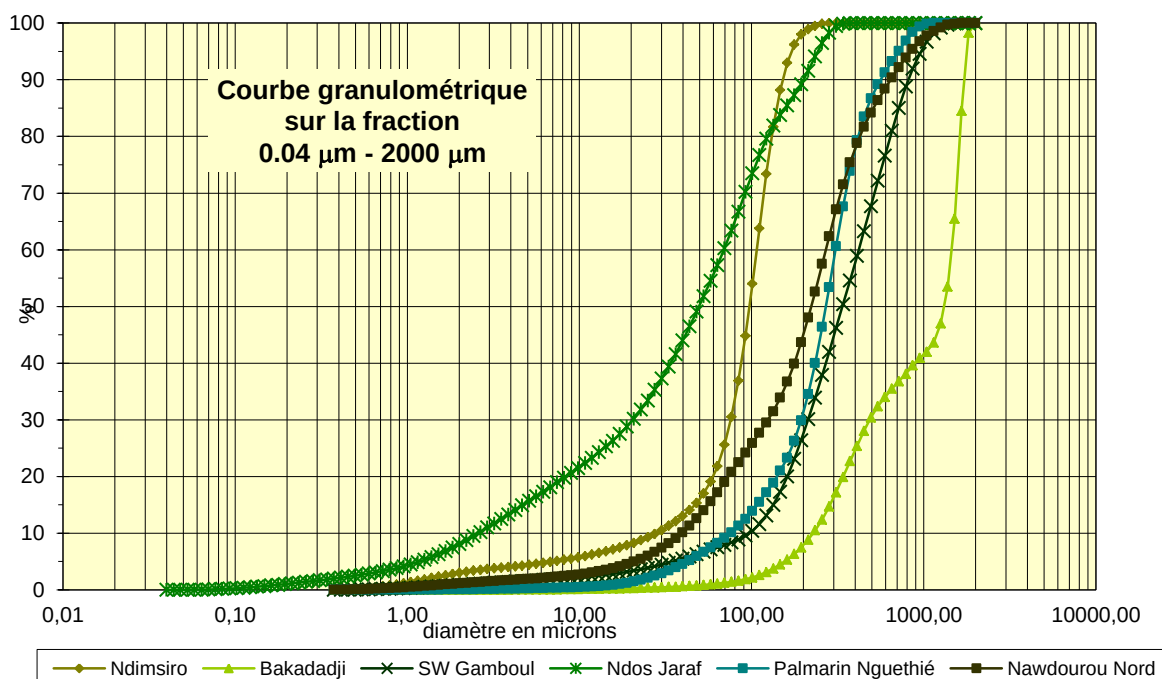
b) domaine continental

Les échantillons sont tirés des tannes de Tchikat Abdoulaye Ba, Nawdourou, Faoye, Ndiémou, Ndoss Jaraff, Bakadadji, Ndimsiro, Palmarin Nguéthie et de Sokone. En surface, se voit un sable ogolien grossier et azoïque, ou un sable gris ou légèrement argileux.

Le niveau 1 va de 29 à 56 cm et renferme un sable fin ocre en début de rubéfaction ou un sable fin noir. Le niveau 2, souvent supérieur à 80 cm, oscille entre 47 et 67cm, révèle une vase argileuse ocre et de la matière organique. Le niveau 3 va de 58 cm jusqu'à plus de 1 m et révèle par endroits, un sable argileux noir, une vase argileuse ocre avec des traces de racines de mangroves, un sable argileux noir avec une forte teneur en argile.

Dans le domaine externe, certains tannes herbus sont éolisés, les sédiments sont dans l'ensemble, grossiers comme à Palmarin Nguéthie, au SW Gamboul et à Ndimsiro.

Ils sont dans les intervalles 100 μm et 1000 μm à l'exception de Ndimsiro, Bakadadji et de Ndoss Jaraff. Les sigmoïdes sont obliques sauf celle de Bakadadji qui est redressée et celle de Ndoss Jaraff qui comporte de légères flexures. Le diamètre du grain moyen oscille entre 1,7 et 4,9 μm . L'indice de Hazen, avec un pic de 26,17 à Ndoss Jaraff, souligne une granulométrie variée sauf à Bakadadji où elle est homogène avec 1,750. Les autres indices donnent un classement relativement bon avec un S_o partout supérieur à 1. La dissymétrie négative, confirme le caractère grossier du stock dans quelques sites. Enfin, le Kurtosis révèle que les sédiments sont bien triés dans l'ensemble des tannes herbus du domaine continental.



Graphique 27: Courbes granulométriques des tannes herbus dans le domaine continental.

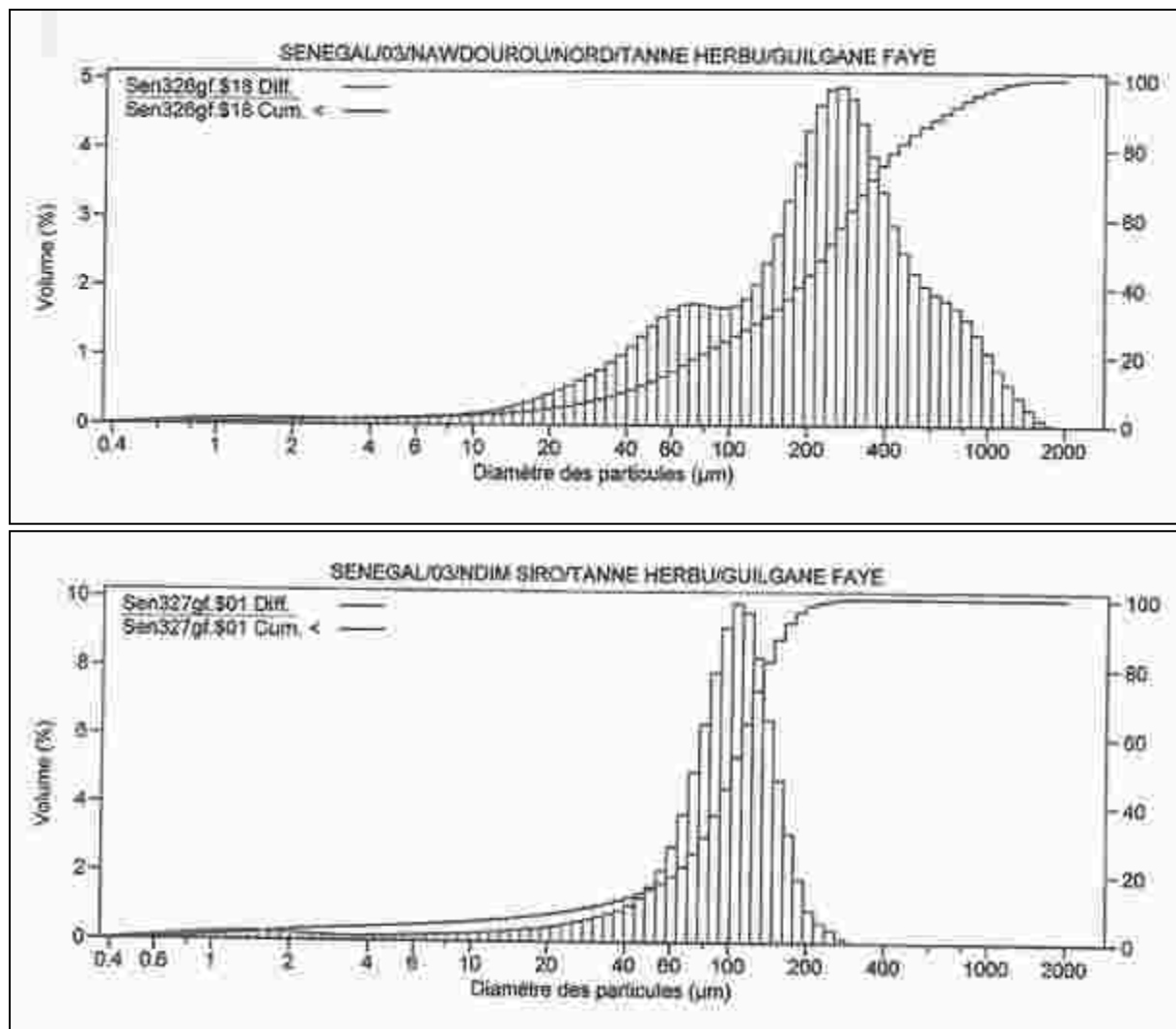
Tableau 89: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules des tannes herbues dans le domaine continental

	Ndimsiro	Nawdourou	Bakadadji	Ndoss Jaraff
Ecart- type	2,797	3,34	2,443	5,318
Variance	7,821	11,15	5,97	28,28
Skewness	-2,732	-1,397	-1,292	-1,076
Kurtosis	8,005	3,279	1,846	0,77
Surface spécifique en cm ² /ml	2983	1426	143,7	14171

Tableau 90: paramètres texturaux des tannes herbues dans le domaine continental

Paramètres	Sites				
	Pal Ngué	Ndimsiro	Nawdour	Bakadadji	Ndoss Jaraff
Indice de classement					
Trask, So	1,521	1,386	1,921	2,013	2,790
Krumbein, Qd	-0,605	-0,471	-0,942	-1,009	-1,480
Inman σ_ϕ	-1,009	-0,740	-1,480	-1,211	-2,422
Folk & Ward, σ_ϕ	-1,116	-1,063	-1,535	-1,136	-2,373
Hazen, Cu	4,053	3,692	7,086	6,459	26,17
Moyenne					
Trask, M	267,15	92,605	215,945	942,550	57,045
Folk & Ward, Mz	2,095	3,576	2,499	0,301	4,921
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	-0,266	-0,460	-0,277	-0,774	-0,368
Coefficient de courbure Cc	1,921	1,751	1,594	0,689	2,315

Les stocks sableux sont dominés par les apports d'origine continentale par ruissellement à partir du bas plateau du CT. Les indices de tri, de grain moyen, les valeurs du Skewness et du Kurtosis témoignent d'un hydrodynamisme moindre et occasionnant une distribution homogène des particules sur les tannes nus du continent.



Graphique 28: : Courbes leptokurtiques des sédiments à Ndimsiro et à Nawdourou

6.1.6. Les cordons

6.1.6.1. Localisation et caractérisation

Les cordons littoraux sont des dépôts qui résultent de l'accumulation de sable ou de galets adossés ou appuyés sur une roche. Ils sont aussi désignés comme de remblai de sable ou de galets, accumulé par un courant côtier en une bande parallèle à la côte (le Petit Larousse illustré 2008) ou par le vent. Ils sont d'une diversité morphologique et d'une diversité dans la nomenclature (Cordons sableux, cordons dunaires, flèches sableuses, tombolo etc.).

Les cordons datent du Quaternaire ; ceux des côtes sénégalaises appartiennent au Tafolien qui correspond à une période de régression marine avec des dépôts sableux successifs vers 4000 ans BP, suivie par le « comblement des lagunes inter-cordons (Thiam M D, 1986) ».

Ils sont donc issus des fluctuations climatiques du Quaternaire en phase humide et sèche avec des variations du niveau de la mer. Ils n'ont pas cessé d'évoluer depuis leur mise en place. L'évolution actuelle est grandement influencée par le changement climatique en cours.

Ils constituent les unités morphologiques les plus élevées, d'orientation NNW/SSE et résultent « d'une progradation à partir du retrait de la mer lors du maximum Nouakchottien. Diara M (1999) soutient que « les cordons sableux se sont érigés sur les vasières fossiles, depuis le début de la période aride vers 4000 ans BP, à la faveur d'un changement de régime sédimentaire favorable à la distribution des sables dans le delta. L'origine de ces sables est double: éolienne et des apports du nord vers le sud dans tout le delta de la Gambie dans la partie sud, exclusivement ».

Au nord du Saloum, des cordons sableux ont été identifiés le long des marigots de Ndangane et de Faoye. Ces cordons sont à une altitude faible ne dépassant pas 1 m.

Certains d'entre eux contiennent des amas coquilliers qui peuvent être recouverts par un sable terreux épais de 0,50 m. Ce sont des cordons très dégradés et sont tous entourés de tannes très développés. Ils présentent une pédogénèse bien avancée.

Selon Diara M (1999) « au sud du Saloum, l'altitude des cordons, mesurée par rapport au zéro hydrographique, est comprise entre 2 et 4 m dans la partie la plus septentrionale; elles s'étagent entre 2 et 8 m (exceptionnellement 10 m) dans la partie méridionale, au-delà du Diomboss.

Ces cordons sont parfois recouverts d'amas coquilliers et l'altitude peut alors atteindre exceptionnellement 15 m (ex: Diogaye). Ce sont les formations topographiques les plus élevées du delta; elles sont toutefois, en général, plus basses que le bas plateau du Continental Terminal qu'elles entourent (10 m). Les photos 18 et 19 nous montrent des cordons érodés en microfalaises aux estrans de Dionewar.

Photo 18: érosion vive au niveau du cordon de Dionewar avec microfalaise de plus de 1m



Cliché Faye G (2008)

Photo 19: érosion vive au niveau du cordon de Dionewar avec microfalaise dévoilant les racines.



Cliché Faye G (2008)

Ils se rencontrent presque partout dans le domaine insulaire ; celui de Fandiong accompagnant le Saloum jusqu'à la pointe Jackonsa, et le Diomboss jusqu'au bout occidental de Poutaké.

Diop E S (1986) leur donne « une altitude de plus de 3 m ».

Les principaux cordons se rencontrent dans les secteurs suivants :

- le long du marigot de Ndangane, ils sont visibles dans le méandre de Djilor, et du village de Simal. Au sud du marigot, tous les villages de Mar sont sur le cordon du bas plateau du CT, de même que le village de Diamniadio est entouré de cordons.

- dans le secteur de Faoye, le cordon est couvert d'une croûte de battance avec efflorescences salines, donc évoluant en tanne nu. D'autres sont à sable azoïque, mais souvent interrompus par des amas coquilliers jusqu'à Ndjonda. Entre cette localité et Mbolonghass I, se succèdent des amas coquilliers sur cordons ou sous forme d'îlots jusque vers Mbolonghass II où le marigot à eau douce de Sandiara est entouré d'un cordon dont la végétation à affinité tchadienne.

- Ils longent la ligne de Nganassaw- Khabak sur plus de 3 km, tandis qu'à Sakhor, ils évoluent en tanne nu jusqu'au droit du village de Sendiff.

- tout au long du Sine, les cordons s'étendent derrière le village de Fayako, et à quelques kilomètres de Fatick sur la rive Ouest, montrant de hautes microfalaises de plus de 1,5 m.

Au-delà de la ville vers le Nord, le mince filet du chenal incise les tannes nus bordés de tannes herbus suivis de cordons jusqu'à Tanno Mack 14°23'143''N au nord de Ndiémou.

- sur la ligne du Saloum, ils accompagnent le système dès les villages Palmarin, mais beaucoup plus développés le long du littoral de la flèche côté mer. Au droit de la confluence Ndangane-Saloum, la ligne d'*Avicennia* est interrompue par un cordon qui continue du côté mer, par une succession de segments à partir de la latitude 13°59'215''N jusqu'aux environs de Djirnda à la ligne 13°59'064''N. Le site de ce village est un vaste cordon à *Adansonia digitata*.

Les villages de Ndong Log et de Mbassis, bâtis sur un cordon dunaire Ogolien, ont une végétation à affinité tchadienne avec de grands arbres.

- à l'approche de Foundiougne, sur la rive sud, s'étend un long cordon à acacias jusqu'à la latitude de Ndolette 14°08'750''N. De là, à Ndangane Diène, de longs filets de cordons et d'îlots sablo-coquilliers se disputent la rive nord avec même quelques amas en plein estuaire.

- à partir de Ndangane Diène, le bas plateau du CT borde la ligne du Saloum jusqu'au bout, même s'ils se dressent quelques cordons enserrés par les eaux au niveau de l'île de Kouyong, au Nord-est de Tchikat Abdoulaye Ba 14°05'N/15°55'W, mais aussi aux villages de Maka-Kahone et de Ngane Demba Diallo. Tout le reste du paysage concerne le bas plateau du Continental Terminal à dunes ogoliennes jusqu'à Bankou Dinka dans le Djoloff.

Carte 42: sites le long de la vallée fossile du Saloum

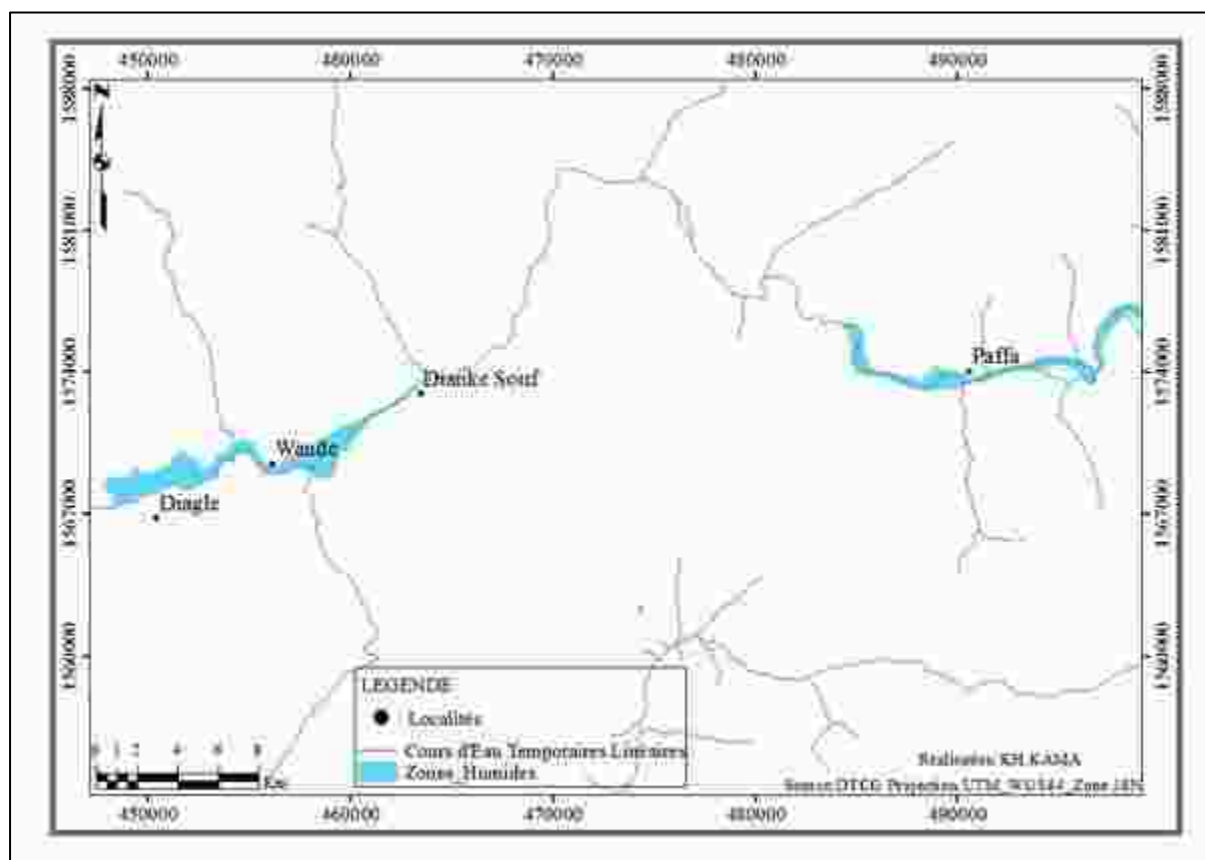
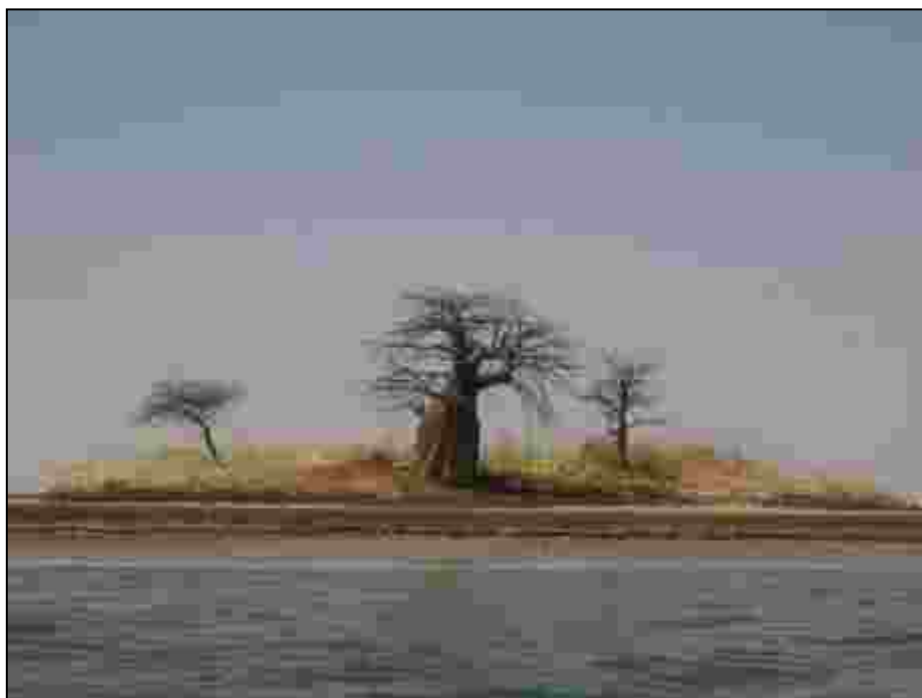


Photo 20: cordon surmonté de baobab et enserré par les eaux du Saloum à l'ouest de Ndangane Diène.



Cliché Faye G (2008)

- le long du Diomboss, les localités de Sokone et Limane se dressent sur de vastes cordons dont la végétation est à affinité tchadienne aux grands arbres, type *Khaya senegalensis*.

Ce scénario se rencontre à Badokh, sur la rive sud et à Bambougar au nord, de même qu'à Mbassy village saisonnier 13°54'020''N et à Gandiara 13°53'694''N. Ce cordon continue et englobe la forêt de Djoundiougue à la ligne 13°52'812''N. Aux bouches du bolong de Sangako, se dresse l'amas coquillier Diorom Bou Mag.

Le reste du paysage se présente sous forme de poches de cordons, surmontées d'*Adansonia digitata* et *Acacia seyal*, à partir de 13°50'720''N, tantôt sur la rive sud, tantôt au nord jusqu'à l'île de Poutaké au droit de Bakhaline 13°49'904''N à l'Ouest du village de Dioffandor sur cordon sablo-coquillier. Il se remarque aussi au village d'Ifoura 13°46'726''N et de part et d'autre de Bossinkang d'où il s'allonge, englobant Bétenti 13°40'924''N et continuant jusqu'aux bouches du bolong de Leba 13°38'301''N.

Ce cordon est soumis à une vive érosion marine ; témoins, les hautes microfalaïses de plus de 2 m de la latitude 13°40'140''N jusqu'à la ligne 13°39'105''N.

Au début des bouches du Léba, les deux villages Djinack sont sur un site de cordon sablo-coquillier à *Adansonia digitata*.

Le long de la ligne Missirah- Toubacouta, il apparaît à la latitude 13°41'232''N sur la rive Ouest, où l'érosion a modelé de hautes microfalaïses de plus de 2 m au village de Ndangane

Doudou 13°42'140''N. Diara M (1999) a noté l'existence d'un cordon sableux depuis 1954 au sud du Bandiala (fig. 46).

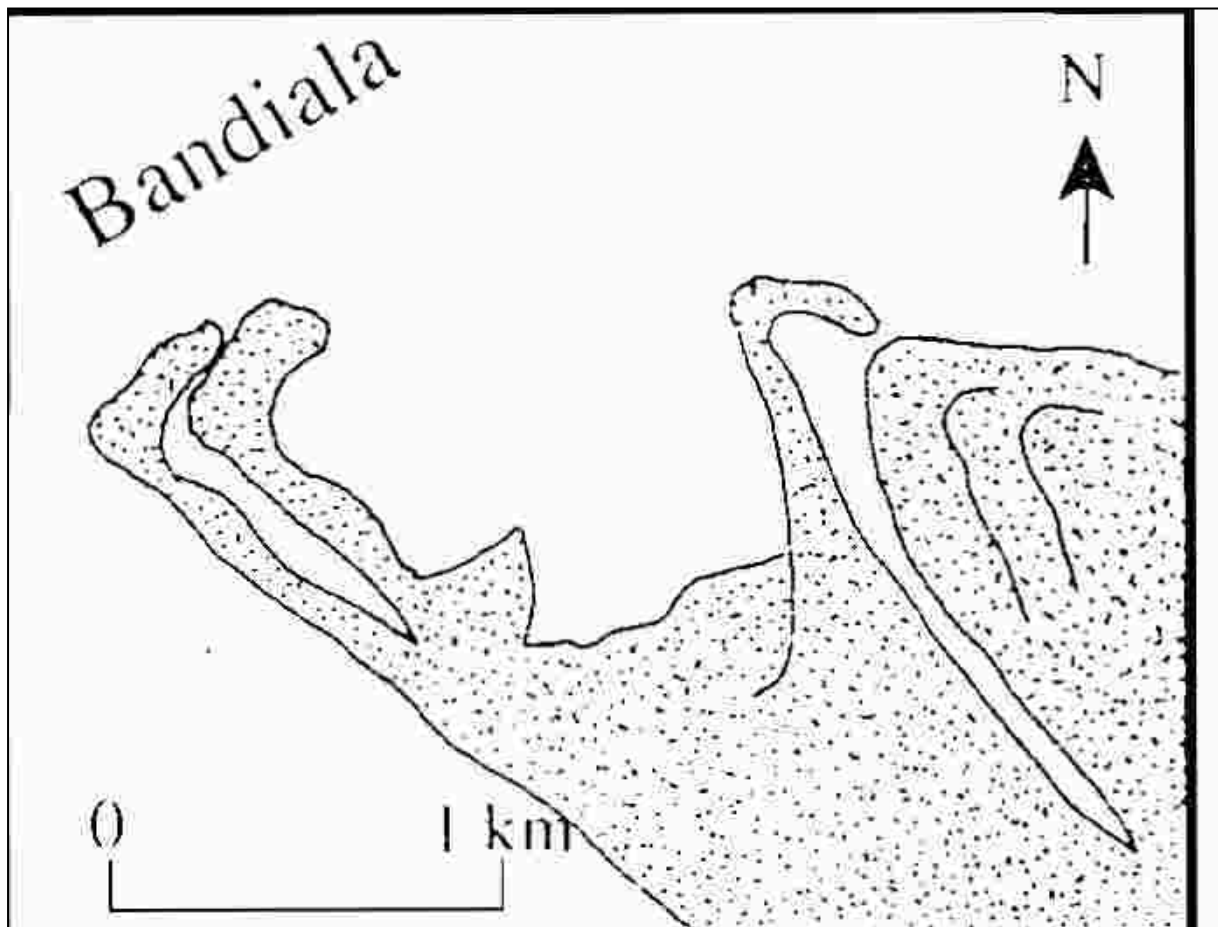


Figure 43: Cordons sableux formés au sud du Bandiala depuis 1954

Diara M (1999)

Il est coupé par une vasière à mangrove et s'étend de nouveau jusqu'à la ligne 13°44'517''N. Enfin, cette partie du bas plateau du Continental Terminal se termine à Toubacouta par un cordon dont les débris de la cuirasse jonchent les tannes nus de l'ouest du village.

Photo 21: cordon le long du Bandiala entaillé par une microfalaïse haute de plus de 2 m.



Cliché Faye G (2008)

Dans le domaine insulaire, les cordons sablo-coquilliers abritent les grands villages comme Bétenti, Bakadadji, Dionewar, Niodior, Falia, Guissanor, Moundé, Siwo et Diogane.

De Falia à Diogane s'étend un vaste cordon de plus de 7 km. Ces cordons sont le plus souvent bordés de microfalaïses. Mais ces microfalaïses sont rares le long du Saloum, car le débordement de l'estuaire ou des tannes sur les terres de culture est incompatible avec leur existence.

Sur la ligne du Diomboss, les microfalaïses s'observent le long du bolong de Sokone sur la rive Nord sur plus de 2 km, à partir du village de Limane jusqu'au nord de Badokh 13°52'910''N.

Le littoral de Bétenti du nord au sud, est bordé d'un cordon à microfalaïses hautes de plus de 2 m par endroits.

Sur la ligne du Bandiala, elles se rencontrent sur de longues distances du village de Sipo et hautes de plus de 3 m par endroits.

6.1.6.2. Sédimentologie

Le stock sédimentaire de surface est constitué selon les endroits, par un sable marin grossier ou d'un sable dunaire ogolien azoïque, ou d'un sable ogolien fin légèrement rubéfié.

D'autres cordons sont sablo-coquilliers comme à Thialane, à Bassoul et à Bassar.

Diara M (1999), en faisant la stratigraphie des cordons, a trouvé les couches suivantes

«- l'ensemble des cordons est recouvert d'une couche de sable de 10 à 50 cm d'épaisseur dans le nord et de 50 cm à plus de 1m d'épaisseur sur les cordons du sud. Lorsqu'il y a la proximité d'un amas coquillier, on trouve alors des coquilles dans cette couche.

- un sable propre, beige ou oxydé, d'une épaisseur variable succède au sable terreux.

Dans cette couche, on peut trouver des racines ferruginisées ou des niveaux nettement oxydés de couleur orange.

- un sable gris, réduit, dont le toit se situe entre 10 et 60 centimètres au-dessus du niveau moyen de la marée, dans la zone de battement de la nappe phréatique, s'étend sur l'ensemble des cordons.

Quelquefois, ce sable contient une fraction pélitique un peu supérieure à 10 %.

Les coquilles ou débris coquilliers sont rares dans cette couche ainsi que dans la couche supérieure.

- Sous la couche grise, on atteint dans les cordons du sud une série de sédiments argilo-sableux avec un pourcentage en pélite dépassant 25 %. Cette série n'appartient pas aux cordons mais aux vasières fossiles mentionnées précédemment. Les sédiments contiennent fréquemment des coquilles ou des débris coquilliers ».

Enfin, Diara M (1999) a effectué une datation de ces cordons résumée dans le tableau 100.

Tableau 91: Datations sur des coquilles des cordons du nord

sites	Profondeur en Cm par rapport à la surface	Fossiles	Date corrigée
Falia 6 S2	80	<i>Dosinia isocardia</i>	3670 ans +/- 100 BP.
Dionewar 2-1	210	<i>Anadara senilis</i>	2370 ans +/- 50 BP.
Dionewar 2- 5	250	<i>Anadara senilis</i>	2780ans +/-60 BP.
Niodior R7S2	70	<i>Anadara senilis</i>	570 ans +/-40 BP.

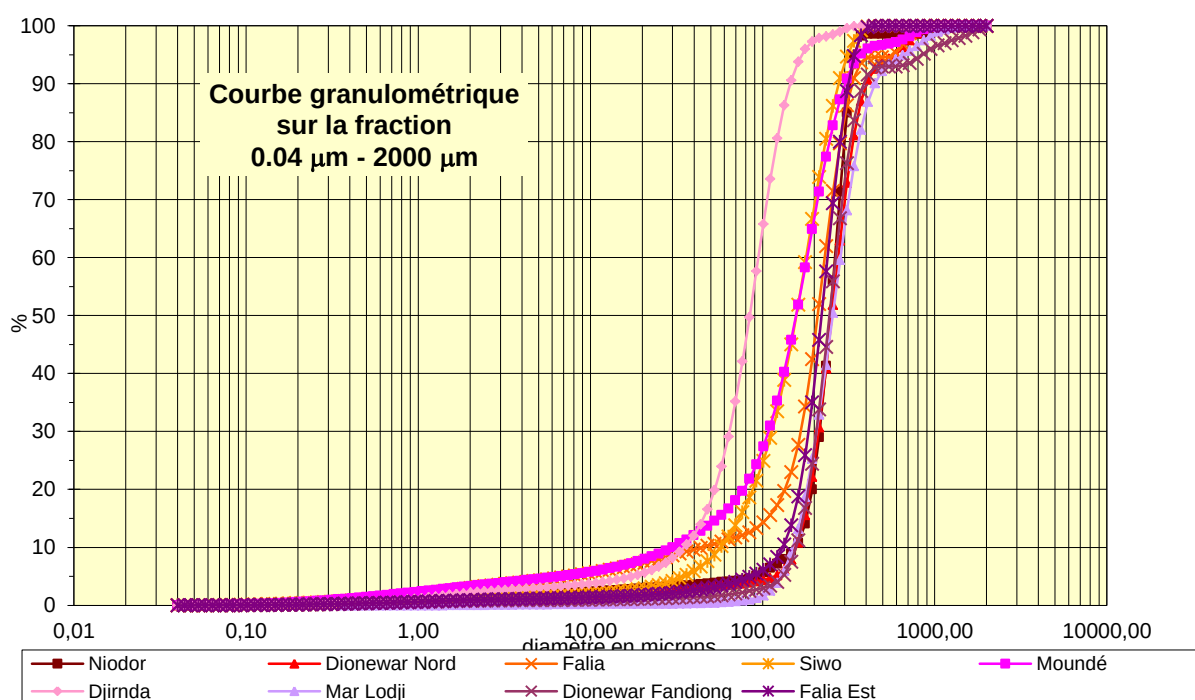
a) domaine insulaire.

Ces taxons existent partout dans les îles, mais ceux de Moundé, Falia, Bassoul, Bassar, Thialane, Djirnda, Mar Fafaco et de Mar Lodji ont attiré notre attention par leur taille.

Les sédiments de ces formations sont constitués de sables fins et moyens et de faibles taux de silts et d'argile. Les courbes sigmoïdes sont redressées, présentent des pentes fortes et des flexures au niveau de la fraction sableuse. L'essentiel du stock sédimentaire est compris entre 100 μm et 400 μm . Le M_z et le $M\phi$ tournent autour de 2 μm . L'indice de Hazen irrégulier (C_u), donne une granulométrie variée au sud de Falia, à Siwo, à Moundé et à Djirnda. Le S_o supérieur à 1 et les autres indices négatifs, confirment le mauvais classement du matériel.

Les valeurs de S_{ki} , tantôt positives, tantôt négatives, révèlent une alternance de particules fines et grossières.

Le K_g et le K_ϕ toujours supérieurs à 1, attestent d'un bon tri des sédiments, cette même tendance est suivie par le coefficient de courbure (C_c).



Graphique 29: Courbes granulométriques des cordons dans le domaine insulaire.

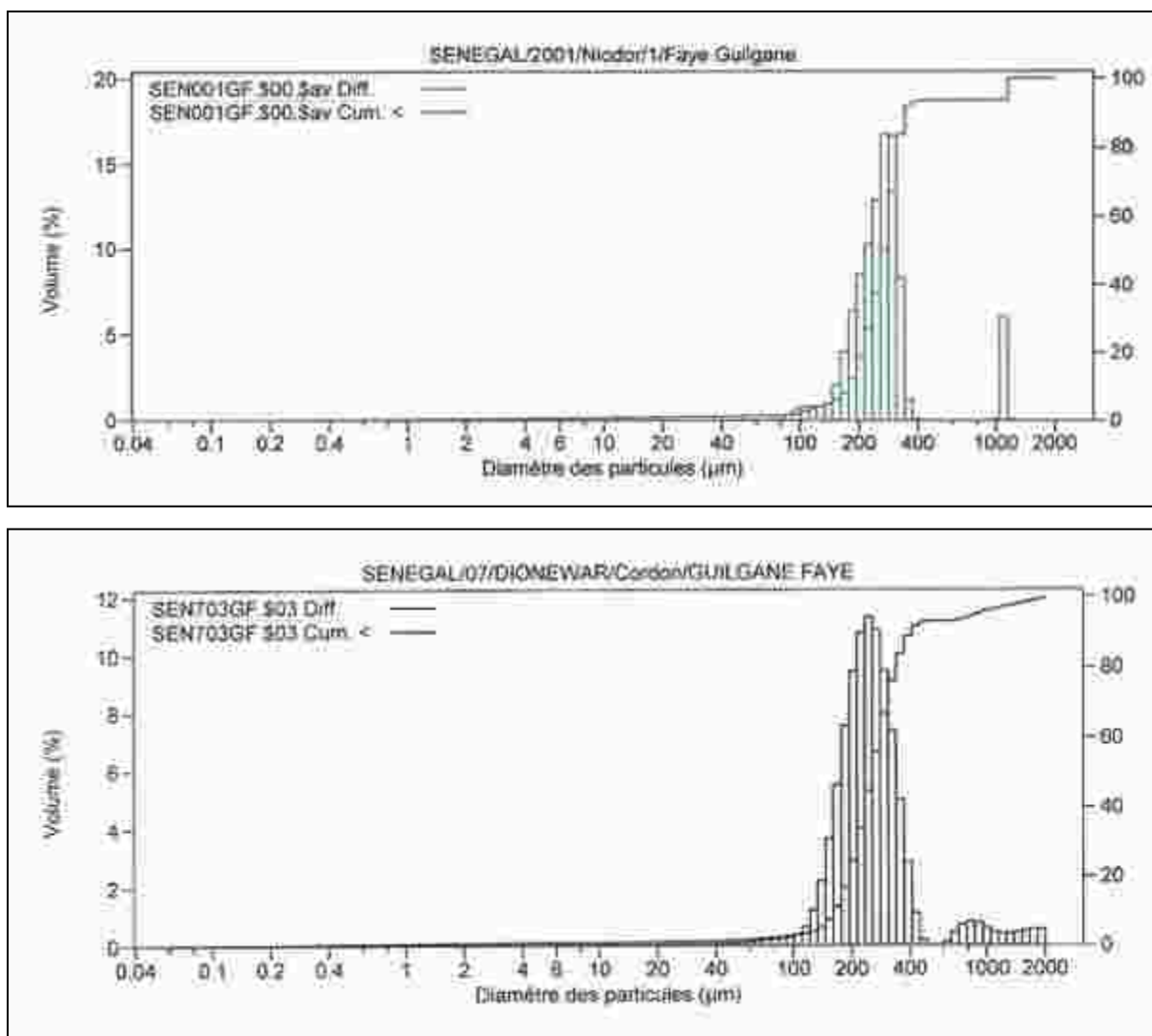
Tableau 92: paramètres texturaux des cordons dans le domaine insulaire

Paramètres	Sites				
	Niodior	Dionewar W	Falia Est	Moundé	Mar Lodji
Indice de classement					
Trask, So	1,205	1,263	1,262	1,522	1,323
Krumbein, Qd	-0,269	-0,336	-0,336	-0,606	-0,404
Inman σ_ϕ	-0,404	-0,471	-0,471	-1,076	-0,605
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,651	-0,582	-0,541	-1,415	-0,670
Hazen, Cu	1,593	1,749	1,922	5,880	1,922
Moyenne					
Trask, M	238,15	251,900	209,000	152,645	243,200
Folk & Ward, Mz	2,095	2,051	2,275	2,948	2,050
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	0,226	0,100	-0,238	-0,416	0,166
Coefficient de courbure Cc	1,098	1,000	1,096	1,923	0,911

Tableau 93: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000 μ m Diamètre des particules des cordons dans le domaine insulaire.

Paramètres	Niodior	Dionewar W	Falia E	Moundé	Mar Lodji
Ecart- type	1,964	2,363	2,118	3,855	1,692
Variance	3,858	5,585	4,486	14,86	2,862
Skewness	-3,851	-4,702	-5,382	-2,54	-1,138
Kurtosis	37,39	30,37	37,89	7,917	13,17
Surface spécifique cm ² /ml	1050	2155	1777	6660	309,4

Dans le domaine insulaire, les cordons sableux ou sablo-coquillers sont formés de stock à dominante particules grossières. Cela explique le caractère homogène de la distribution et la dissymétrie à gauche. Par ailleurs, certains cordons sont le résultat de la progradation vers le large à partir de 4000 ans BP et d'autres comme à Moundé et entre Falia et Diogane, sont d'anciennes dunes ogoliennes émoussées et enserrées par les bolongs.



Graphique 30: Courbes leptokurtiques des sédiments à Niodior et à Dionewar ouest

b) domaine continental

L'analyse concerne les cordons de Faoye, Fayil, Fimela, Fatick, Foundiougne, Ndangane Diène, Kahone, Sokone, Palmarin Nguéthie et de Palmarin Diakhanor. Ces unités sont soit sableuses ou sablo-coquillères et renferment en surface, un sable ogolien azoïque (Fayil), un sable argileux rouge grossier avec des débris de cuirasse (Foundiougne). Ce faciès est retrouvé sur le cordon de Limane à l'ouest de Sokone. D'autres endroits nous ont révélé un sable ogolien rubéfié à Kahone où s'arrête le cordon longeant les deux rives du Saloum, et des microfalaises avec sable ogolien rouge et azoïque.

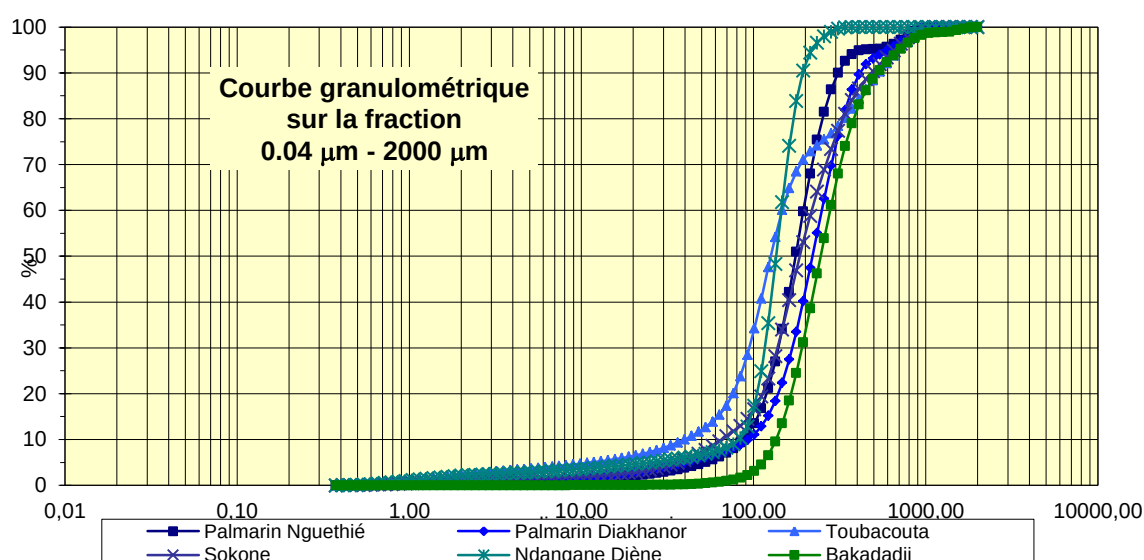
Le niveau 1 atteint 36 à 68 cm concerne les faciès de sable grossier noir et de sable fin argileux gris.

Le niveau 2 dépasse de 40 cm à plus de 68 cm, renferme un sable argileux, un sable fin gris, un sable fin blanc ou jaune tendant vers l'ocre.

Dans certains endroits, comme à Ndangane Doudou au sud de Mbambou (Foundiougne), les cordons jouxtent le chenal avec une microfalaie haute de plus de 2 m.

Les mailles vont de 100 μm à 400 μm et jusqu'à 1000 μm pour d'autres échantillons comme ceux en provenance de Sokone, de Bakadadji et de Toubacouta. Les sigmoïdes sont redressées dans les deux villages Palmarin, mais à Toubacouta, elles comportent des flexures dans la fraction sableuse. Le M_z et le $M\phi$ ont tous dépassé 2, ils expliquent la prédominance des éléments grossiers, alors que le C_u de Hazen nous donne une granulométrie variée dans trois sites et homogène dans les trois autres ; Palmarin Nguéthie, Sokone et Bakadadji. Les valeurs du So soulignent un mauvais classement, mais les coefficients de dissymétrie donnent un excès en particules grossières surtout à Palmarin Diakhanor et à Bakadadji.

Enfin, les valeurs du Kurtosis confirment le bon tri des sédiments.



Graphique 31: Courbes granulométriques des cordons dans le domaine continental.

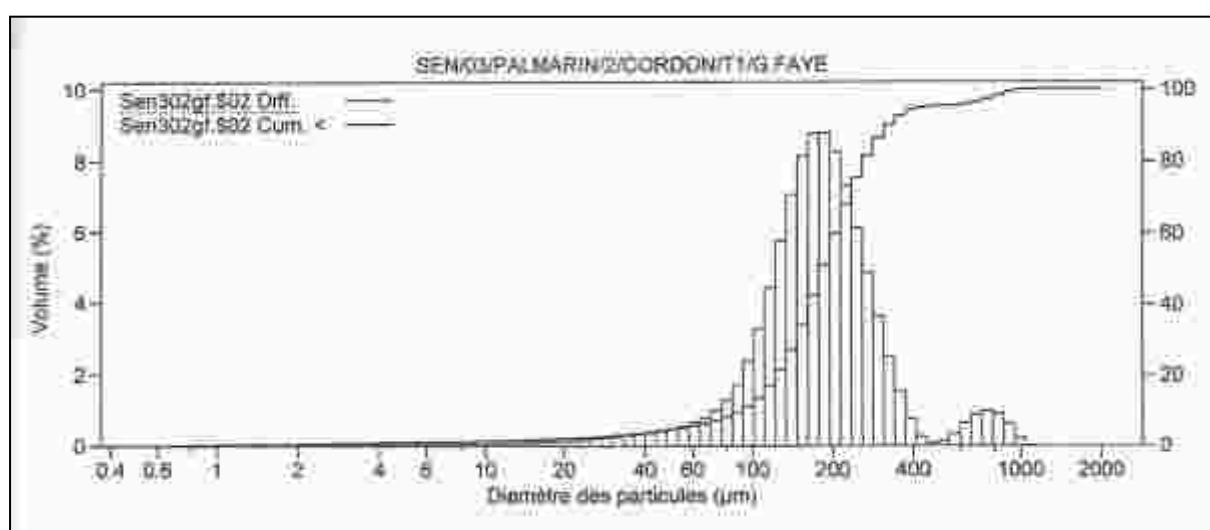
Tableau 94: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000 μm Diamètre des particules des cordons dans le domaine continental

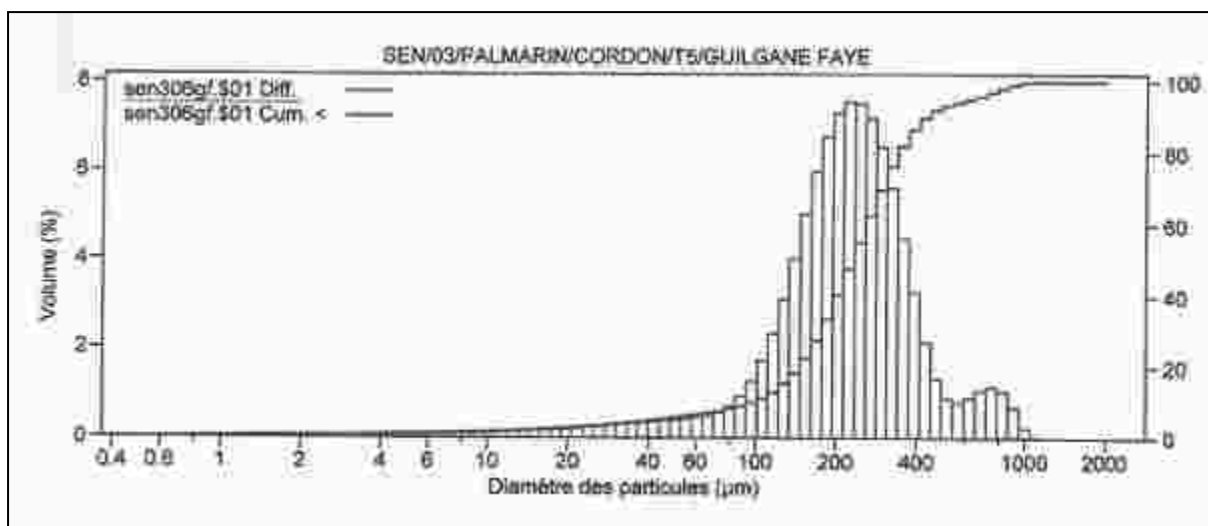
Paramètres	Palmarin Nguéthie	Palmarin Diakhanor	Sokone	Bakadadji	Toubacouta
Ecart- type	2,167	2,382	2,637	1,726	3,483
Variance	4,698	5,676	6,956	2,979	12,13
Skewness	-2,289	-2,32	-2,061	0,516	-1,533
Kurtosis	11,77	9,087	8,235	0,8	4,237
Surface spécifique cm^2/ml	811,6	798	1186	268,2	2347

Tableau 95: paramètres texturaux des cordons dans le domaine continental

Paramètres	Sites				
	Palmarin Nguéthie	Palmarin Diakhanor	Sokone	Bakadadji	Toubacouta
Indice de classement					
Trask, So	1,323	1,386	1,522	1,386	1,670
Krumbein, Qd	-0,404	-0,471	-0,606	-0,471	-0,740
Inman σ_ϕ	-0,672	-0,740	-0,942	-0,740	-1,278
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,805	-0,982	-1,103	-0,757	-1,536
Hazen, Cu	2,315	2,542	3,362	1,921	3,362
Moyenne					
Trask, M	167,500	214,450	201,950	258,400	159,000
Folk & Ward, Mz	2,634	2,275	2,499	2,050	2,813
Coefficient de dissymétrie					
Folk & Ward, Ski	-0,066	-0,179	-0,048	0,124	0,041
Coefficient de courbure Cc	1,097	1,205	1,322	0,911	1,595

Sur le continent, les faibles valeurs négatives du Skewness sauf à Bakadadji, et les forts indices du Kurtosis indiquent que la dissymétrie à gauche et le caractère homogène du stock sédimentaire formé de grains grossiers dont l'origine est en grande partie le bas plateau du CT.



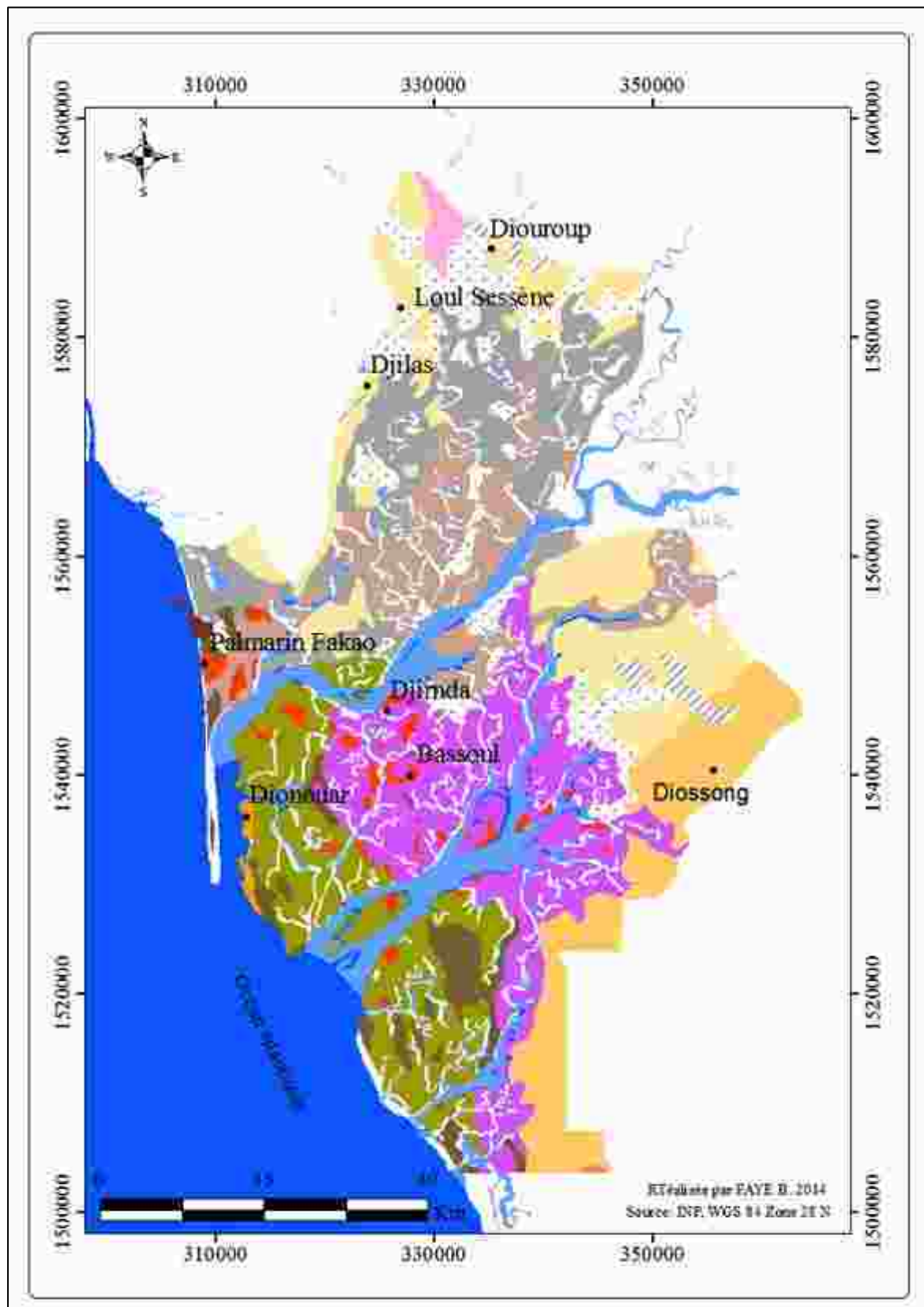


Graphique 32: Courbes leptokurtiques des sédiments à Palmarin Nguéthie et à Palmarin Diakhanor

Légende

- ! Chef lieu CR
- Basses plaines et cuvettes
- Complexe de vasières subactuelles et de cordons littoraux récents
- Cordons littoraux
- Dunes de l'interieur;modelé atténué
- Plateaux et buttes résiduels
- Terrasses sableuses
- Vallées semi permanentes
- Vallées sèches anastomosées
- Tanne dénudée
- Tanne enherbée
- Vésières anciennes: fonctionnelles
- Tanne partiellement dénudée
- Vésières recentes fonctionnelles
- Cours d'eau

**Carte 43: unités morphologiques de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum
1984.**



6.1.7. Les vallées fossiles

6.1.7.1. Localisation et caractérisation

Au niveau de l'Afrique de l'Ouest, elles sont tributaires des grands organismes fluviaux comme le Niger, le Sénégal et la Volta. Mais l'accent est mis sur les vallées fossiles au Sénégal et particulièrement dans le Saloum.

Pour la nappe superficielle, « son réservoir est constitué par un manteau de sables, de sables argileux et d'argiles s'épaississant du nord au sud avec des variations latérales et verticales de faciès. L'épaisseur de la nappe varie d'une dizaine de mètres en limite nord à 80 m au droit d'anciennes vallées creusées dans le substratum » (Diluca 1976). La plus grande partie de cette nappe est constituée par les marigots. Ils sont nombreux dans les régions tropicales ; au Sénégal, ils sont situés en dehors des villages, ils remplissent plusieurs fonctions sociales : abreuvoir, linge, eau de consommation, jardinage et purification pour les initiés.

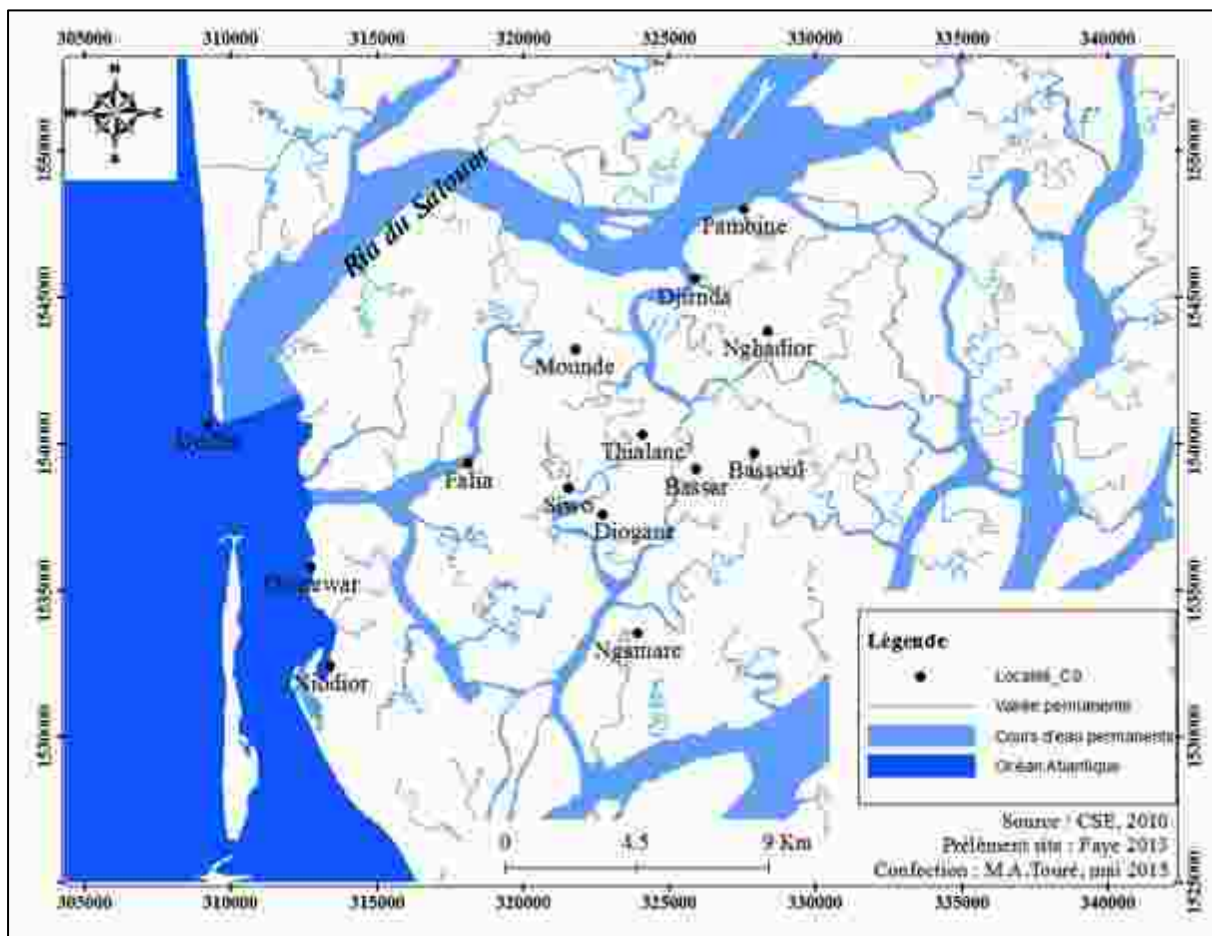
Parmi ces bassins versants, deux concernent l'aire d'étude ; celui du Sine et celui du Saloum qui débordent légèrement dans celui du Ferlo.

Dans l'ancienne région du Sine- Saloum, au relief très plat, se forment des successions de mares et de marigots, se remplissant progressivement pendant l'hivernage et finissant par communiquer entre eux. Cela aboutit dans certains secteurs à des écoulements généralisés à l'endroit des anciennes vallées.

Plusieurs marigots d'eau douce sont éparpillés dans les localités suivantes :

- dans la forêt classée de Fathala, s'étendent des marigots au point 13°38N/16°32W
- dans les îles Bétenti, ils se retrouvent aux points : 13°49N/16°34W et 13°38N/16°36W
- dans le secteur Missirah et Toubacouta : 13°47N/16°28W ; 13°40N/16°30W
- dans la forêt classée de Sangako : 13°48N/16°27W.

Carte 44: localisation de quelques marigots d'eau douce dans le domaine insulaire.



La Commune de Sokone (13°52N/16°22W) est la plus arrosée avec les marigots de Senghor 20 km, de Sokone 26 km, de Keur Mama lamine, les eaux de Tiarène, de Djissa, de Diosso entre les villages de Daga Diawdine et Diamaguène. D'autres étendues d'eau douce se rencontrent à Limane (03), Ndoffane (02), Diaglè (01), Daga Diawdine (02), Diamaguène (03), Mbouloume (03) et enfin un à Ndiogone.

Dans cet arrière-pays de Sokone, le plus important marigot d'eau douce est le Duni, situé à 500 m au Nord du village de Daga Diawdine. Il est logé dans un bas fond entourant le village et partant de Sokone à l'Ouest jusqu'à Ngoundoul à l'Est sur environ 5 km.

Il borde les villages de Diamaguène, de Ndiaffé - Ndiaffé, de Daru Daang Taxuun, de Ndiaw Sérère, de Ndiouffène et de Sambaré. D'autres marigots et mares se retrouvent dans les secteurs suivants :

- le long la ligne de Palmarin - Mar (Lodji 14°03N/16°41W, Fafaco 14°03N/16°38W), se trouvent d'anciens marigots fossiles comme ceux de Ngallou, de Ngounoumane et de

Nguéthie. Ces marigots ont donné les noms des villages actuels : Palmarins (14°01N/16°46W), Djifère (13°55N/16°46W), Diakhanor (13°57N/16°45W) ;

- dans les îles de Falia (13°54N/16°42W) et de Guissanor (13°57N/16°42W) ;

- dans les secteurs de Soum, Ndorong Log (14°04N/16°27W) et Thiaré, marigot à l'Est de Simal (14°09N/16°37W) ;

- dans les secteurs de Fimela, Djilor et Ndiaffat ;

- dans la forêt classée de Vélor, à part le Bayal, bolong affluent du Diomboss, les eaux douces se retrouvent dans les marigots de « Ngom 14°03'18"N/16°13'22"W, de Gassama 14°03'27"N/16°14'17"W, de Deuk Diafoul 14°06'53"N/16°15'22"W, du Laobé 14°02'11"N/16°17'36"W et celui de Koutara 14°02'18"N/16°17'44"W » (A. Daba Thiaw 2001) ;

- dans les villages de Diofior et de Gagué Chérif (14°07N/16°21W) ;

- dans les forêts classées de Kouyong et de Kousmar ;

- par ailleurs de l'Ouest vers l'Est, ils se rencontrent successivement au niveau des localités de Djilass, Gandiaye et Sibassor (14°11N/16°10W) ;

- entre Birkelane (14°07N/15°52W) et Kaffrine (14°06N/15°33W) ;

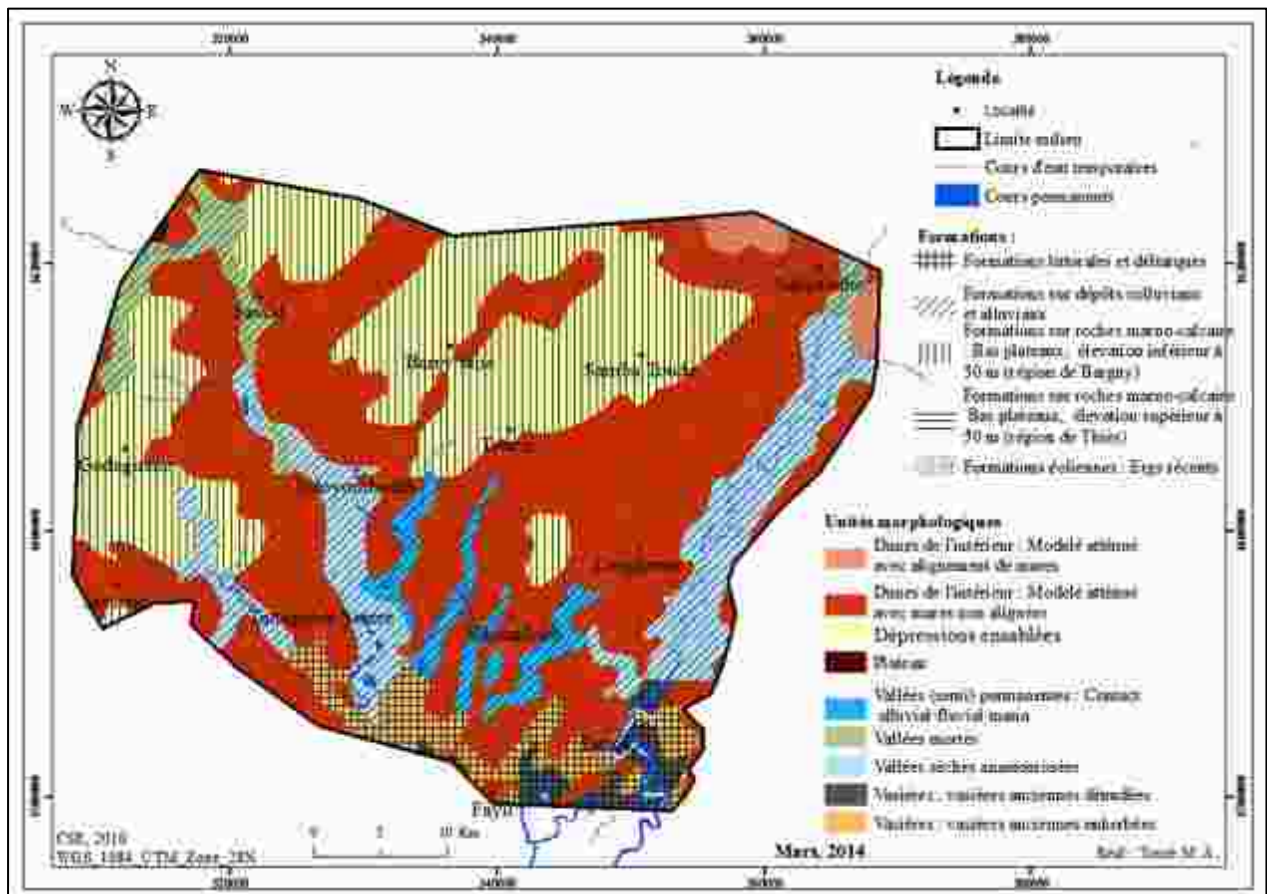
- de Kaffrine au village de Levé (14°19N/15°17W) ;

- entre Levé et Paffa (14°14N/15°05W) en passant par Ndioum Nguenth (14°21N/15°12W) ;

Enfin, de Ndioum Nguenth jusqu'à la localité de Saré Lagny à l'est de laquelle s'arrête la vallée fossile du Saloum : bout de la vallée fossile 14°24N/13°56W, dernière confluence avec la vallée fossile 14°21N/14°15W, Saré Lagny 14°23N/14°20W, Nayon Diampoulo 14°26N/14°33W, Mana 14°22N/14°38W, Ribot Escale 14°21N/14°41W, Kounkoun 14°24N/14°48W, Nguenth Paté 14°17N/15°55W, Tag Guèye 14°15N/15°00W et Paffa 14°14N/15°05W.

Dans l'Arrondissement de Sibassor, Carrière, Sob, Nakham bu mak, Ngarine, Ndally, Dioka Nakham bou ndaw sont les principales lignes saisonnières.

Carte 45: réseau hydrographique et unités morphologiques entre le Diomboss et le fleuve Gambie



Dans la Commune de Keur Mboucki, Nous dénombrons environ 32 cours d'eau dont la durée de vie varie entre un et six mois. Nous citons parmi les plus importantes, celui de Tewou, de Ngorel à Keur Mboucki, de Ndowar dans la forêt classée qui se trouve dans le secteur de Touba Khadam.

Dans le log, la faible dénivellation du relief favorise l'abondance des mares et se distingue plus d'une vingtaine de mares. Parmi ces mares, beaucoup tarissent dès la fin de l'hivernage à l'exception de la mare de Soum et de la carrière de Gagué Bocar. C'est le cas aussi d'autres mares comme Mbella khomb, Mbel poss, Mbel sadognane Mbel gariri, Mbel Sop (près de Sap), Mbel khobé ou Yandé, kinine près de Gagué Mody, Kiif 1 et 2 sur le littoral près de Mbam, Waala à Soum, Mbel gawlo ...

Dans la Commune de Ndiébel, l'essentiel des eaux de surface est constitué de marigots temporaires dispersés sur toute l'étendue du terroir et des points d'eaux situés dans les bas-fonds de Ndalane, de Ndiaye Guèye et dans la vallée de Bodione.

Dans la Commune de Nioro Alassane Tall et particulièrement dans tout le village de Simon Diène, aucun marigot n'est rencontré.

Dans la Commune de Diossong, les bolongs qui sont des affluents du Diomboss sont localisés dans la partie ouest et les nombreuses mares et bas-fonds existants ; plus de 25, sont tributaires de la pluviométrie et tarissent pour la plupart en décembre-janvier.

Dans la Commune de Bassoul, la presque totalité (9 sur 15) des marigots alimentés en eau douce sont devenus salés ; C'est le cas de Bakhaagol et de Bélakhote, comme ceux de Tookbassar et de Nganeki dans le village de Bassar.

Ndong A (2005) distique les mares suivantes dans la Commune de Djilass (tabl N°106):

« - le marigot de Mbissel : de la vallée du même nom, il va de Mbissel à Djilass, en passant par Kobongoy, Soumbel, Ndimbéding et au Nord-ouest de Diofior, soit 37 Km de long.

Il est constitué de deux bassins versants ayant leur ligne de partage des eaux à hauteur de Soumbel. L'un des bassins versants a son exutoire dans le marigot de Fadial, à l'Ouest, alors que l'autre exutoire se trouve dans le marigot de Faoye, et fait jonction avec la vallée de Diosiro.

Tableau 96: les différentes mares de la Commune de Djilass (Fatick)

Villages	Noms des mares
Djilass	Niakhane, Taltakha, Wourdou, Fatapa
Ndimbéding	Ngayoukh
Faoye	Mbela Tigue, Ngam Ndiako, Hakhal
Ngarigne	Mbel yadiof, Sambam, Fangodate, Ndendere, Ngarigne ne Kémboukhe
Roh	Mbela Mack, Mbela Ndomboug
Sorobougou	Ndiangnar, Laybé, Ndialapobh, Mbat wane
Soumbel	Mbak Massa, Ndiob Nox
Soudiane Thiélème	Sang neen, Mbel Salane, Saas Yangane, Ngarigne ne goule o ndiass.

Ndong A, (2005).

Dans la Commune de Djilass, Ndong A (2005) localise plusieurs vallées : Agha-Foua-Djilass, Mbissel et Diosiro. (Diofior-Simal-Roh).

La vallée de Diosiro s'étend du nord de Fimela jusqu'à Djilass en passant entre Diofior et Roh. Elle contourne Djilass au Nord-est pour rejoindre la vallée d'Agha-Foua-Djilass qui se dirige vers Boyard.

La vallée de Mbissel, entourée de tannes herbacés et arborés, s'étend de l'ouest de la commune et passe entre Ngarigne Nanoh et Soumbel et se joint à la vallée Diosiro au Nord-est de Diofior.

Dans la Commune de Tattaguine, le réseau de vallées fossiles comporte les lignes suivantes:

- la ligne principale Tattaguine-Ndiarogne traversant Soudiane, Mbar, Ndiagamba, Mbassis, Mbomba, Nakho maye, Ndioumsala, Mbellongouthé ;
- par ailleurs, l'arrondissement est traversé par les cours d'eau (bras de mer) à Diobaye et de quelques rivières à Senghor, Doudam, Dioral et Ndioudiouf dans la Commune de Diouroup.

A partir de Mbellongouthé, cette vallée se divise en deux :

- celle de Mbella mballé en direction de Mbel mbénil jusqu'à Thiamène,
- celle de Nanaye, Podome jusqu'à Tattaguine.

A partir de Nanaye, les ruissellements se déversent dans le marigot de Ndiosmone, celui-ci se déverse dans celui de Mbine Ndiack et la boucle se ferme à Ndioumsala.

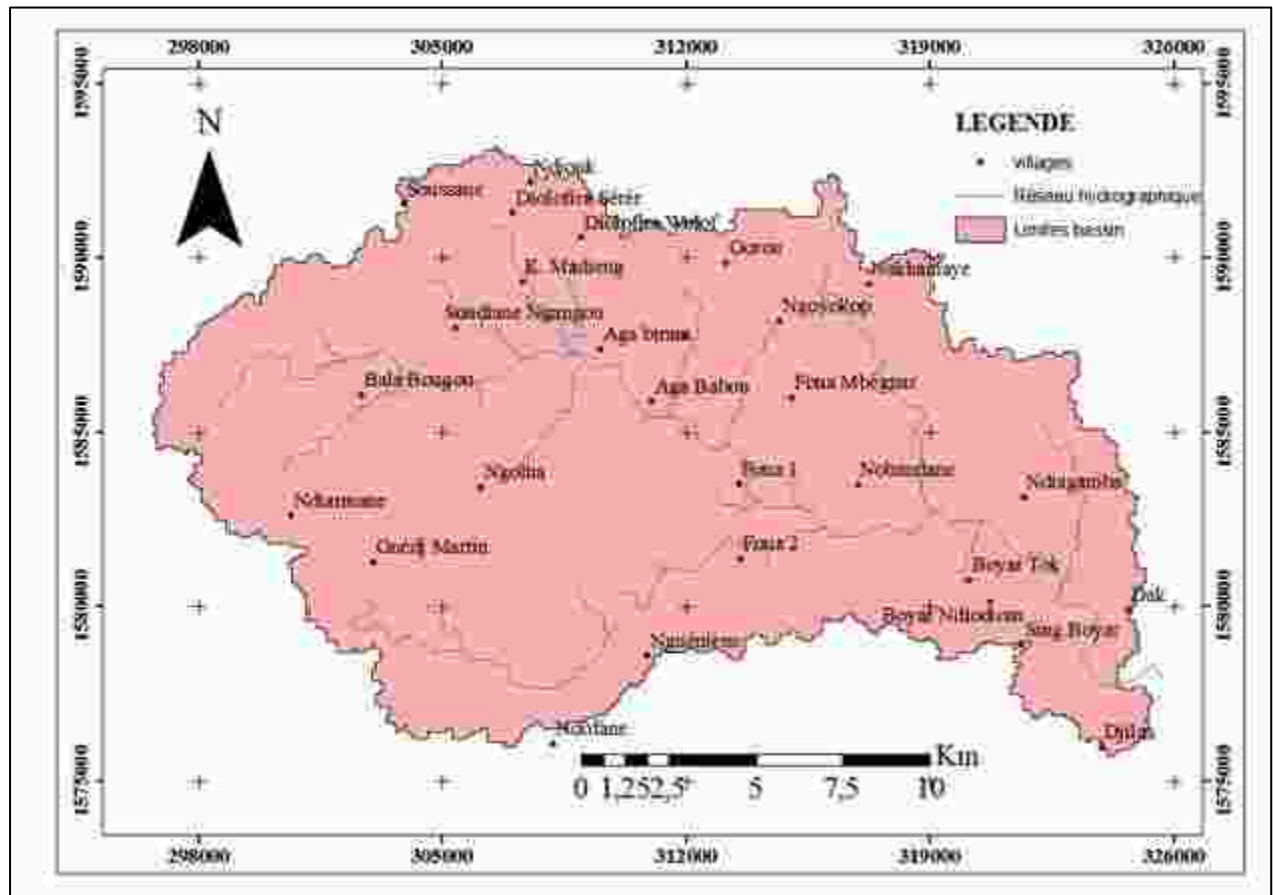
Dans le domaine estuarien, au Nord-ouest et au sud de Faoye, se trouvent les bas-fonds de Raafou, Ndjonda, Mbolonghass I et II et le marigot de Sandiara au nord de Diamniadio.

Dans l'Arrondissement de Fimela, les eaux de surface sont constituées par des ramifications du bras de Ndangane à Faoye, un des défluent du Saloum. Se rencontre aussi la vallée de Mbissel qui va de Djilass en passant au nord de Diofior.

Enfin, la vallée d'Aga-Foua- Djilass relie le sud de Thiadiaye (région de Thiès) à Djilass en passant par Aga et Foua (villages dans la Commune de Loul Sessène carte N° 45).

Cette vallée qui comporte plusieurs ramifications, n'est affectée par la salinité que dans sa partie aval vers Djilass. A ces vallées, s'ajoutent les nombreuses mares dont les plus importantes sont, Sandiara, Kori, Wourde, Doulo, Satar, Konène, Djimbli, Mamar, Bibil et les bas-fonds.

Carte 46: le réseau hydrographique du bassin d'Aga-Foua



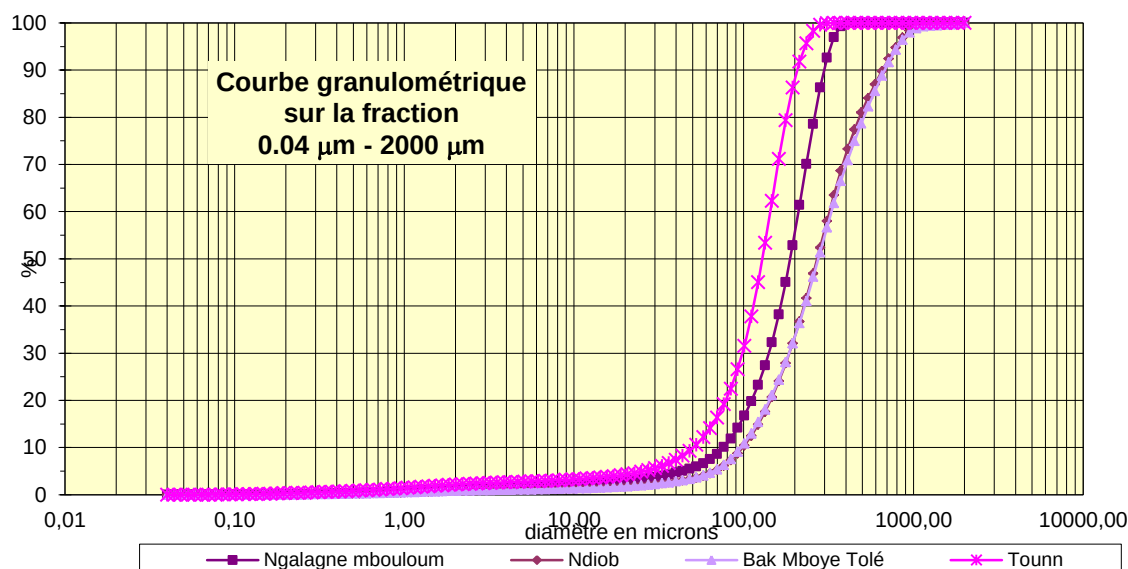
Dione Philip Malick (2011)

6.1.7.2. Sédimentologie.

Le long du Saloum, il s'agit de la vallée du village de Tounn et le long du Sine nous avons échantillonné en surface dans les vallées de Ndiop, de Ndoss Jaraff, de Ngalagne Mbouloume et de Back Mboye Tolé. Le faciès général est un sable ogolien grossier et azoïque légèrement rubéfié. Il est originaire du ruissellement à partir des dunes ou du bas plateau du Continental Terminal.

Quatre échantillons y ont été prélevés dont un dans le Saloum au village de Tounn et trois autres à Ngalagne Mbouloume, à Ndoss Jaraff et à Ndiob. Dans le Saloum, les sédiments sont concentrés dans la fourchette 100 μm – 400 μm , alors que dans le Sine, ils sont encadrés par les mailles 100 μm et 1 000 μm où les éléments sont moyens ; cela est confirmé par un M_z et un $M\phi$ partout supérieurs à 1. Les sigmoïdes sont légèrement redressées.

La granulométrie variée s'explique par la taille du Hazen dépassant 2,5 mais, le classement est relativement mauvais avec un So dépassant toujours 1, confirmé par un excès en particules fines dans deux sites et un bon tri par un Kurtosis toujours supérieur à 1.



Graphique 33: Courbes granulométriques des vallées fossiles.

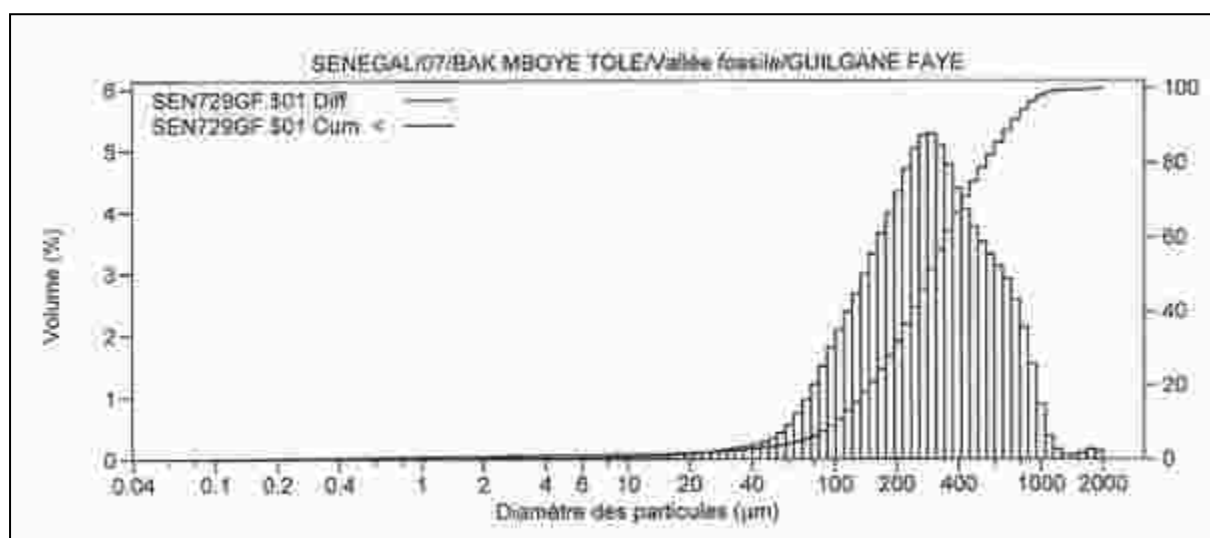
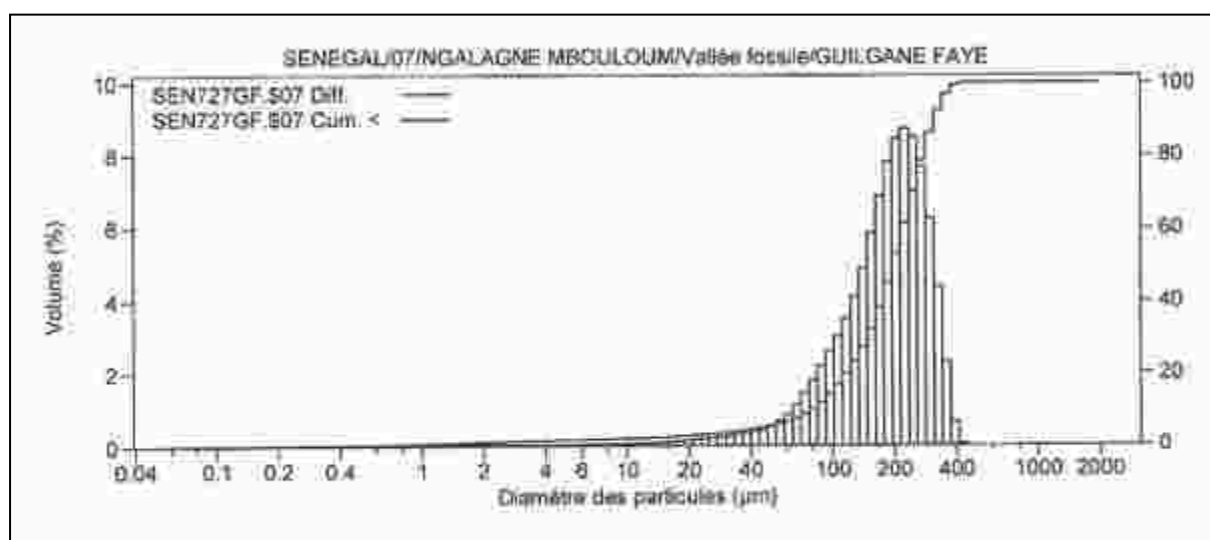
Tableau 97: Paramètres texturaux dans les vallées fossiles

Paramètres	Sites			
	Tounn	Ngalagne	Bak mboytolé	Ndoss Jaraff/Ndiob
Indice de classement				
Trask, So	1,386	1,386	1,670	1,594
Krumbein, Qd	-0,471	-0,471	-0,740	-0,673
Inman, σ_ϕ	-0,740	-0,740	-1,077	-1,009
Folk & Ward, σ_ϕ	-0,839	-0,818	-1,089	-1,055
Hazen, Cu	2,789	2,789	3,362	3,362
Moyenne				
Trask, M	122,550	177,950	305,450	285,400
Folk & Ward, Mz	3,172	2,634	1,961	2,006
Coefficient de dissymétrie				
Folk & Ward, SkI	-0,376	-0,363	-0,055	-0,088
Coefficient de Cc	1,323	1,322	1,096	1,096

Toutes les vallées sillonnent le territoire, par conséquent, leur stock sédimentaire est formé de sable Ogolien originaire du bas plateau du CT ; d'où l'excès en particules grossières et le caractère homogène de la distribution leptokurtique combinée à une dissymétrie à gauche.

Tableau 98: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm

Paramètres	Tounn	Ngalagne	Bak mboytolé	Ndoss Jaraff/Ndiob
Ecart- type	2,722	2,433	2,636	2,611
Variance	7,407	5,921	6,948	6,817
Skewness	-3,724	-3,773	-2,509	-2,697
Kurtosis	17,25	19,52	12,95	14,12
Surface spécifique en cm ² /ml	4320	2135	1489	1565



Graphique 34: Courbes leptokurtiques des sédiments à Ngalagne et à Bak mboytolé

Conclusion.

La localisation des unités morphologiques est loin d'être exhaustive, mais elle a permis de situer les plus importantes par leurs dimensions. Elles sont perceptibles presque dans les domaines continental et insulaire et présentent des caractéristiques différentes et des signes de dégradation ou sont complètement dégradées.

Dans le domaine insulaire comme sur le continent, les valeurs prises par les paramètres du fond du chenal, indiquent qu'il s'agit de sables bien classés dans un milieu peu agité.

Les berges et les estrans, sont tapissés de sables fins, généralement bien à très bien classés.

Ils sont déposés dans un milieu peu agité.

Les bancs sableux, sont formés de sables grossiers marins, généralement bien à très bien classés et homogènes.

Sur la terre ferme comme dans le domaine insulaire, les vasières sont constituées de particules homogènes, attestant d'une distribution leptokurtique et d'un Kurtosis variant entre 46,18 et 12,30, un Skewness négatif donnant une dissymétrie à gauche et une distribution leptokurtique dans tous les sites.

Les tannes reçoivent beaucoup de sédiments originaires de certains cordons ou du bas plateau du Continental Terminal ou bien c'est le plateau qui est transformé en partie, en tannes; cela explique la prédominance des particules grossières.

Les paramètres texturaux témoignent du caractère relativement calme du milieu ce qui occasionne une distribution homogène des particules sur les tannes nus du continent.

Les cordons sableux ou sablo-coquillers sont formés de stock à dominante particules grossières. Cela explique le caractère homogène de la distribution et la dissymétrie. Par ailleurs, certains cordons sont le résultat de la progradation vers le large à partir de 4000 ans BP et d'autres sont d'anciennes dunes ogoliennes émoussées et enserrées par les bolongs.

Enfin, les vallées sillonnant le territoire, ont un stock sédimentaire formé de sable ogolien originaire du bas plateau du Continental Terminal ; c'est qui explique l'excès en particules grossières sur les tannes et le caractère homogène de la distribution leptokurtique combinée à une dissymétrie à gauche.

En définitive, l'analyse sédimentologique confirme une modification des faciès dans tous les taxons morphologiques qui comportaient auparavant deux principaux : un faciès lagunaire et un faciès marin, selon les recherches antérieures effectuées par Sall MM (1982) ; Diop ES

(1986) et Diara M (1999). Ces modifications de faciès sédimentaires, ne peuvent être que l'un des impacts du changement climatique en cours.

6 .2. Dynamiques des unités morphologiques des années 1980 aux années 2010.

6 .2.1. La mangrove du Saloum

6 .2.2. Dans l'ensemble de l'aire d'étude de 1986 à 2014

6 .2.2.1. La situation de 1986

6 .2.2.2. La situation de 1999

6.2.2.3. La situation de 2006

6.2.2.4. La situation de 2014

Conclusion.

6 .2.1. La mangrove du Saloum

Dans l'étude de la dynamique de la mangrove du Saloum, El Hadji Balla Dièye et *al*, ont utilisé les images consignées dans le tableau 108

Tableau 99: Images satellitaires Landsat et SPOT utilisées

Satellite	Capteurs	Date	Résolution (m)
Images satellitaires Landsat			
Landsat 1	MSS	05/11/1972	57
Landsat 7	ETM+	28/12/2010	30
Images satellitaires SPOT			
Spot1		09/05/1986	20
Spot4		02/01/2001	20

El Hadji Balla Dièye et *al* (2013) dans « évolution spatiale de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972et 1999 » ont étudié la dynamique de la mangrove du Saloum. Ces chercheurs ont trouvé des résultats indiquant « une évolution d'ensemble négative de la mangrove de l'ordre de 34,8 %, marquée par une stabilité de 61,7 %, une extension de 3,5 % contre une régression plus importante de 38,3 % entre 1972 et 1986, soit sur une période de 14 ans. Leurs résultats sont consignés dans le tableau N°109.

**Tableau 100: Statistiques de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum
(1972 – 1986)**

Classes	Nomenclature	Pourcentage (%)	Superficie (ha)
1	Mangrove stable	23,83	31751,28
	Mangrove dense	4,52	6020,03
	Mangrove moins dense à clairsemée	19,31	25731,25
2	Apparition mangrove	1,36	1809,34
3	Disparition mangrove	14,79	19711,22
4	Tannes (1986)	33,88	45136,85
5	Eau (1986)	26,14	34829,14
	Total	100,00	133237,83

El hadji balla Dièye, et *al* (2013)

Leurs conclusions à la lecture de ce tableau, soulignent « les résultats de l'évolution des classes de mangrove et de tannes entre 1986 et 2001.

L'évolution de la mangrove, bien que faible, reste positive entre 1986 et 2001 (3,73 %) par rapport à la période 1972-1986. En effet, cette période est marquée par une certaine stabilité de la mangrove (89,36 %) et une reprise de la régénération de 14,38 %, contre une nette baisse de sa disparition (10,64 %) ».

Pour, El hadji balla Dièye et *al* (2013), « la dynamique observée entre 1986 et 2001 se confirme entre 2001 et 2010 avec une stabilité et une apparition de la mangrove plus importantes et une raréfaction encore plus faible. Cette dernière concerne essentiellement la mangrove située dans la zone de rupture de la flèche de Sangomar. La mangrove quant à elle reste concentrée et importante dans les parties nord et Nord-ouest de l'estuaire ».

Et ils proposent le tableau N° 110

**Tableau 101: Statistiques de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum
(1986 – 2001)**

Classes	Nomenclature	Pourcentage (%)	Superficie (ha)
1	Mangrove stable	24,97	33652,80
	<i>Mangrove dense</i>	9,17	12356,20
	<i>Mangrove moins dense à clairsemée</i>	15,80	21296,60
2	Apparition mangrove	4,02	5413,88
3	Disparition mangrove	2,98	4008,96
4	Tannes (2001)	12,05	16234,56
5	Eau (2001)	31,01	41783,00
	Total	100,00	101093,20

El Hadji Balla Dièye, et *al* (2013)

Ce tableau N°111 présente les résultats de cette évolution. Dans l'ensemble, et comparativement à la période 1986-2001, l'évolution de la mangrove de cette série est restée positive et faible (18,96 %) mais caractérisée par une nette baisse de sa régression (4,36 %) et une nette hausse de son apparition (23,31 %).

« Avec un taux d'évolution net annuel moyen de + 0,25 % entre 1986 et 2001 contre un taux de - 2,48 % entre 1972 et 1986 et +2,11 % entre 2001 et 2010, on peut émettre l'idée d'une inversion de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum entre 1986 et 2001 avec une régénération de la mangrove dépérissant (El Hadji Balla Dièye, et *al* 2013) ».

**Tableau N°102; Statistiques de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum
(2001 – 2010)**

Classes	Nomenclature	Pourcentage (%)	Superficie (ha)
1	Mangrove stable	30,09	38322,81
	<i>Mangrove dense</i>	8,85	11273,58
	<i>Mangrove moins dense à clairsemée</i>	21,24	27049,23
2	Apparition mangrove	7,33	9340,74
3	Disparition mangrove	1,37	1745,73
4	Tannes (2010)	31,88	40604,67
5	Eau (2010)	29,33	37364,31
	Total	100,00	127378,26

El Hadji Balla Dièye, et *al* (2013)

« Leurs résultats confirment les conclusions de Moreau N. (2004) ; Dièye E. (2007) et Andrieu J (2008) sur l'évolution de la mangrove du Saloum, essentiellement localisée à la périphérie notamment au nord et au Nord-ouest de l'estuaire (El Hadji Balla Dièye et *al*, 2013) » (tabl 112)

**Tableau N°103: Synthèse de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum
(1972 - 2010)**

	1972 -1986 (14ans)	1986 – 2001 (15ans)	2001-2010 (9ans)
Evolution d'ensemble (en %)	34,8	3,73	18,96
Stabilité (en %)	61,7,	89,36	18,95
Disparition (en %)	3,5	10,64	4,36
Apparition (en %)	38,3	14,38	23,31
Taux disparition annuel moyen (en %)	- 2,74	- 0,71	- 0,48
Taux apparition annuel moyen (en %)	+ 0,25	+ 0,96	+ 2,59

Taux net annuel moyen (en %)	- 2,48	+ 0,25	+ 2,11

El Hadji Balla Dièye, et *al* (2013)

De ces différentes analyses, il ressort clairement que la mangrove de l'estuaire du Saloum est marquée par « deux tendances évolutives : une période de régression importante entre les années 1972 et 1986. C'est ainsi que la régression « de la mangrove est essentiellement localisée dans la périphérie de la vasière notamment dans sa partie septentrionale qui a plus subi les effets de la sécheresse. Les parties centrale et méridionale de l'estuaire, plus stables, sont moins touchées (Ndour, 2005 ; Dièye, 2011) in El Hadji Balla Dièye et *al* (2013) ».

6 .2.2. Dans l'ensemble de l'aire d'étude de 1986 à 2014

Dans l'ensemble de l'aire d'étude, la disponibilité des images nous a permis de choisir une année avant 1987 (rupture de la flèche de Sangomar), une dans les années 1990, et deux dans les années 2010.

6 .2.2.1. La situation de 1986

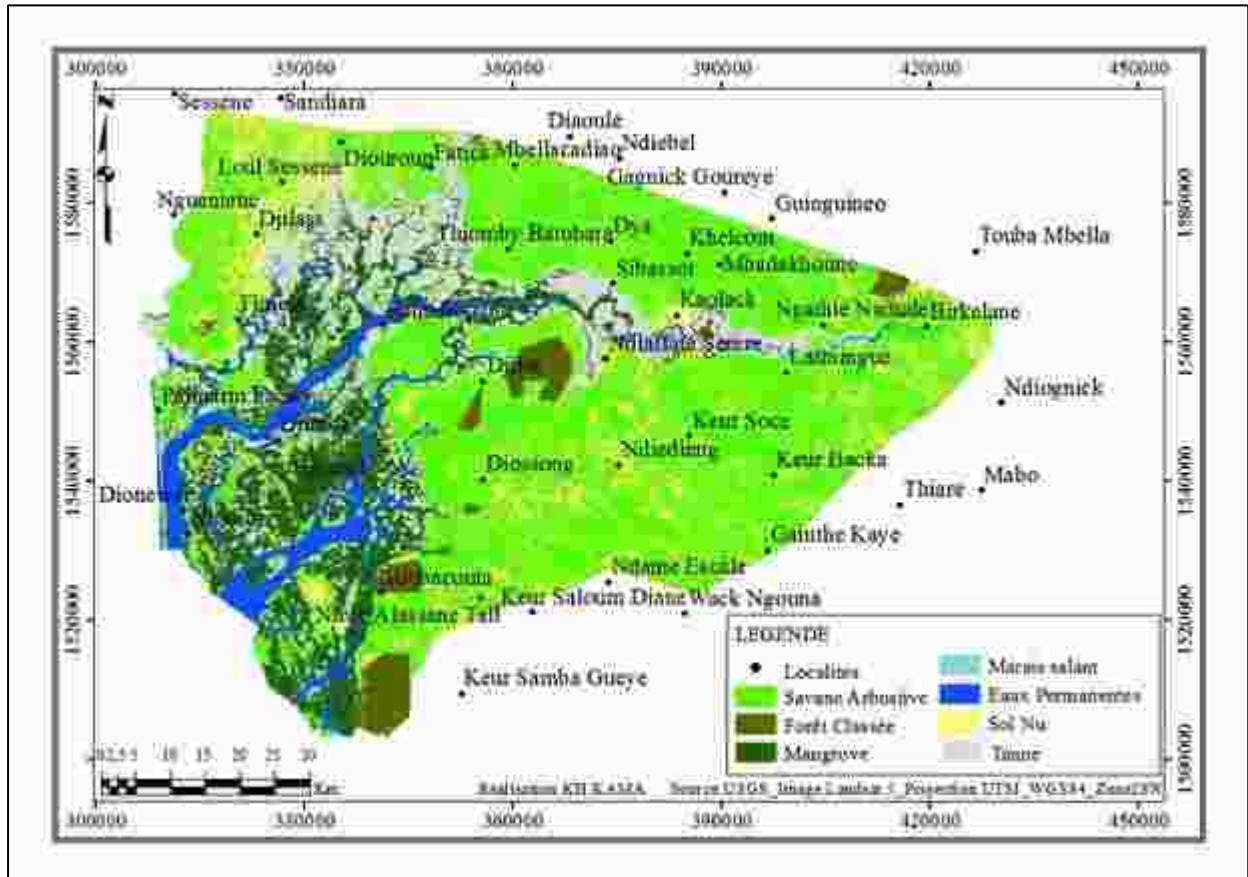
Le tableau nous montre qu'en 1986 c'est la savane arbustive dans les régions de bordures qui domine l'espace avec 46,32% de la superficie totale du milieu. Elle est suivie par le sol nu qui occupe 17,04 % de la surface. Ce sont les marais salants et les surfaces boisées dans les Forêts classées qui représentent les plus faibles étendues avec respectivement 0,18% et 3,10%.

Cette dégradation des Forêts classées est l'un des multiples impacts du changement climatique et de l'action anthropique.

Tableau N°104: Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 1986

Unités	Superficie en Ha	Pourcentage
Savane arbustive	310386,91	46,32
Superficie boisée dans les Forêts classées	20788,43	3,10
Vasières à mangrove	79392,47	11,85
Marais salants	1192,17	0,18
Eaux permanentes	62197,8	9,28
Sol nu	114215,9	17,04
Tannes	81968,81	12,23
Total	670142,49	100 %

Carte 47: la situation de 1986



6 .2.2.2. La situation de 1999

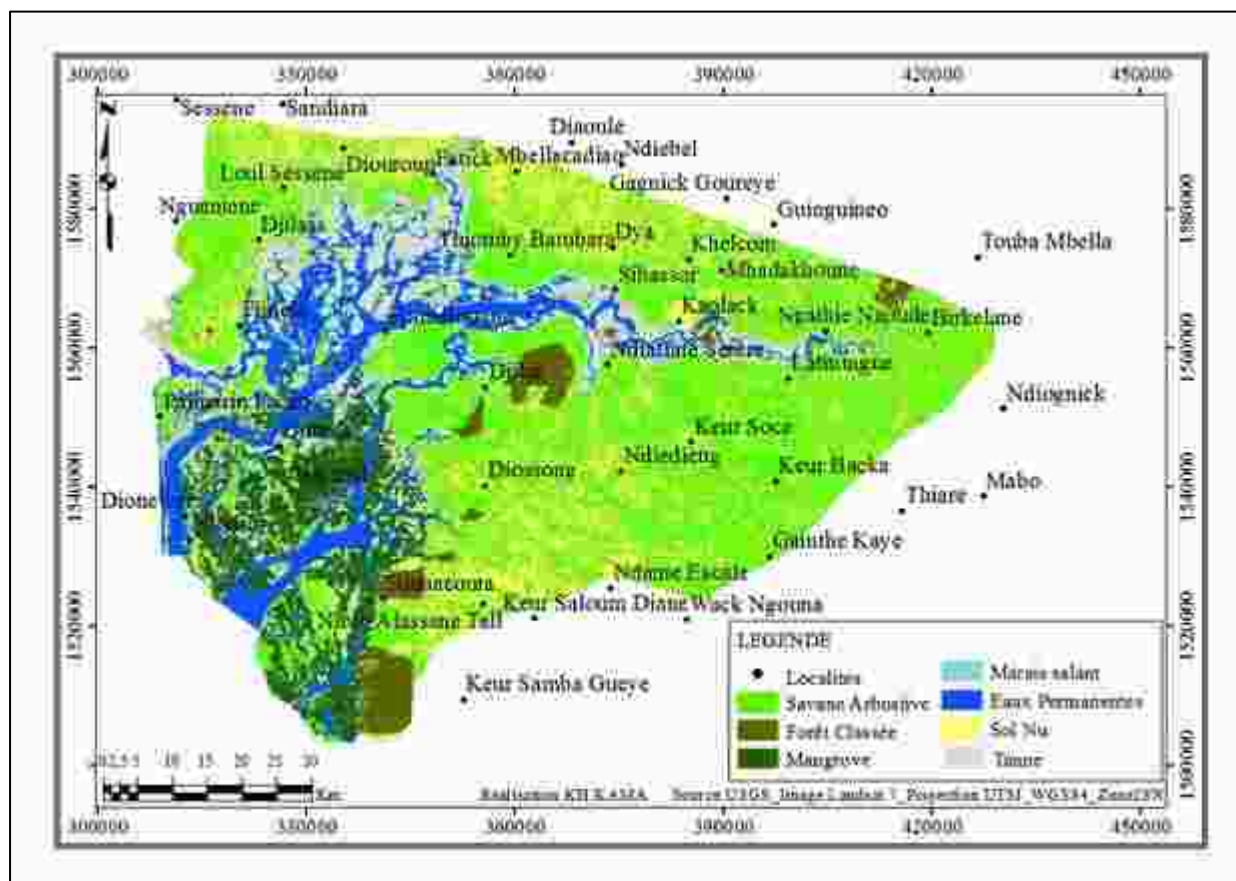
Nous remarquons des changements au sein des unités morphologiques entre 1987 et 1999.

La savane arbustive a vu sa superficie diminuer de 8,19% durant cette période. La surface boisée dans les Forêts classées est restée presque stable. Durant ces 12 années la mangrove a suivi une dynamique régressive passant de 11,85% à 8,31% soit une réduction de 23697,13 ha. Les marais salants ont connu une légère évolution positive. L'étendue des eaux permanentes a augmenté de 1,82%. Les sols nus et les tannes ont progressé respectivement de 7,24 % et de 2,23% entre 1986 et 1999. (Conf tabl 114 et carte 47)

Tableau N°105: Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 1999

Unités	Superficie en Ha	Pourcentage
Savane arbustive	255551,8	38,13
Superficie boisée dans les Forêts classées	20871,	3,11
Vasières à mangrove	55695,	8,31
Marais salants	1321,	0,2
Eaux permanentes	74411,9	11,10
Sol nu	165382,2	24,68
Tannes	96907,5	14,46
Total	670142,4	100 %

Carte 48: la situation de 1999



6.2.2.3. La situation de 2006

Des mutations sont perceptibles au sein des unités morphologiques entre 1999 et 2006. La savane arbustive a vu sa surface passer de 38,1 % à 41,5 % soit une extension de 3,3 % occupant ainsi plus de 2/5 de la de la superficie totale. La mangrove suit également cette évolution positive car étant passée de 55695,3 ha à 87927,3 ha soit une progression de 4,8%. Dans les Forêts classées la partie boisée a connu une réduction de sa superficie même si elle est de moindre importance (-213,3ha) en 2006 par rapport à l'année 1999. Quant aux marais salants, ils ont légèrement progressé durant cette période. Les sols nus ont également progressé, leur étendue a évolué de 24,6 % à 30,9 % soit un accroissement de 42101,7ha de leur surface. Les tannes ont aussi connu une dynamique progressive passant de 96907,5 ha à 102396,6 ha entre 1999 et 2006. (Conf tabl 115et carte 48)

Tableau N°106: Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 2006

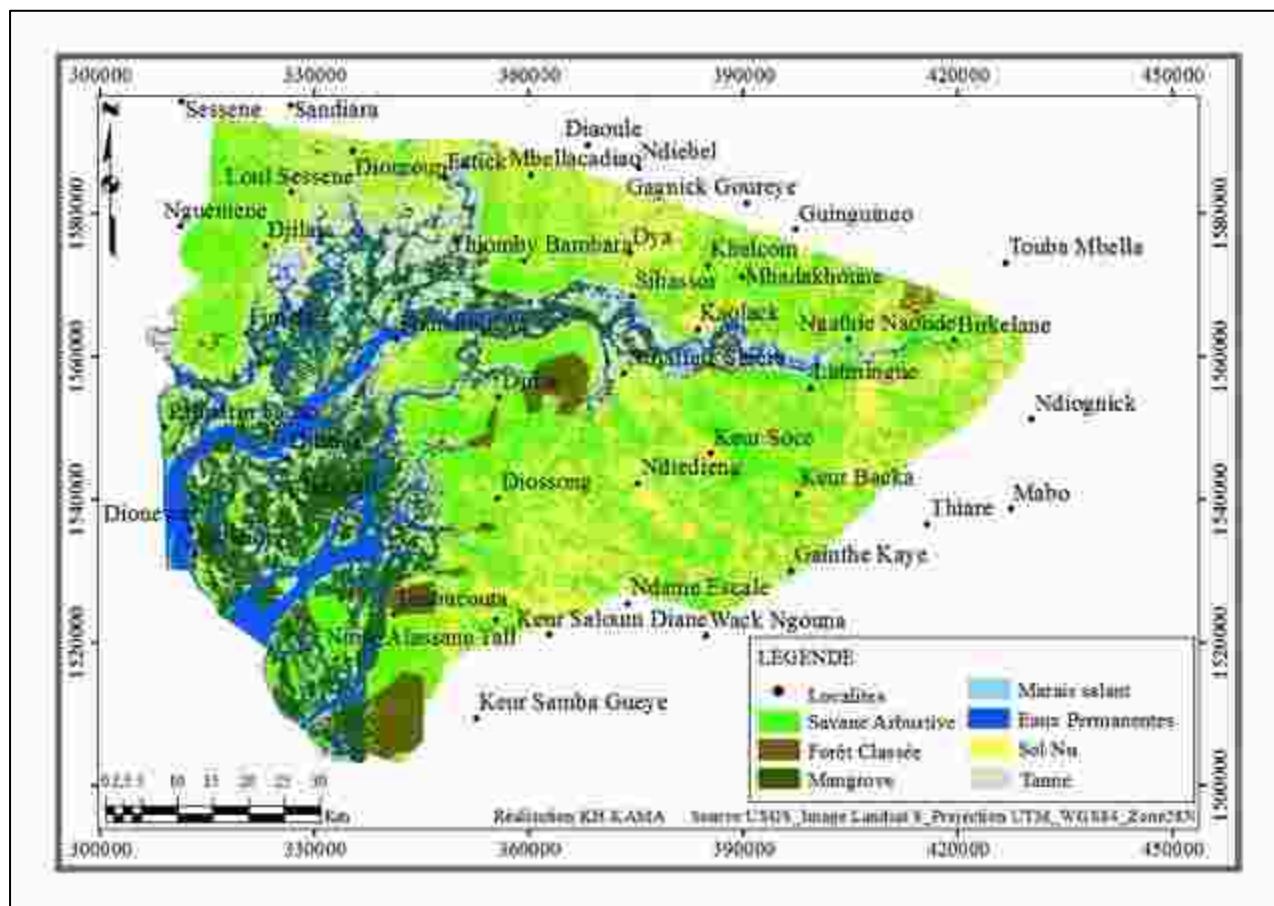
Unités	Superficie en Ha	Pourcentage
Savane arbustive	278223,3	41,52
Superficie boisée dans les Forêts classées	20658,2	3,08
Vasières à mangrove	87927,3	13,12
Marais salants	1398,7	0,21
Eaux permanentes	74450,8	11,11
Sol nu	207483,9	30,96
Tannes	102396,6	15,28
Total	670142,4	100 %

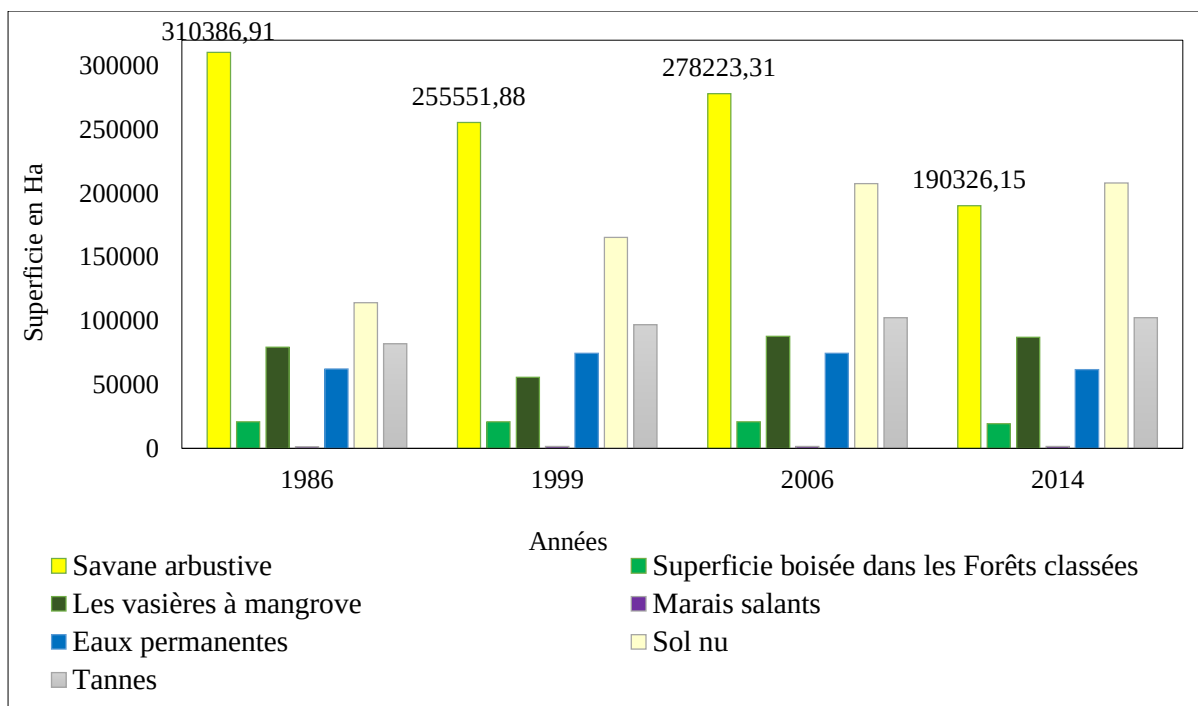
Entre 2006 et 2014 la superficie de la savane arbustive a connu une importante réduction

Tableau N°107: Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 2014

Unités	Superficie en Ha	Pourcentage
Savane arbustive	190326,2	28,40
Superficie boisée dans les Forêts classées	19269,6	2,87
Vasières à mangrove	87109,2	13
Marais salant	1411,5	0,21
Eaux permanentes	61590,5	9,19
Sol nu	208026,5	31,04
Tannes	102408,9	15,28
Total	670142,5	100 %

Carte 50: la situation de 2014





Graphique 35: évolution d'ensemble des unités morphologiques

Conclusion.

De 1986 à 2014, toutes les unités morphologiques ont évolué de façon remarquable :

La surface de la savane arbustive a dominé en 1986 soit 46,32% du total (310386,91ha) pour baisser en 2014 à 28,40 % (190326,15 ha).

La superficie boisée dans les FC a faiblement varié en passant de 20788,43 ha soit 3,10% à 19269,67 ha soit 2,87%.

Les vasières à mangrove, tout en marquant une diminution 1986 et 1999, ont connu une légère progression entre 1986 et 2014 car variant de 79392,47 ha soit 11,85% à 87109,23 ha soit 13 % ; cela peut être l'effet de la reprise climatique à partir de 2000 et surtout les résultats des campagnes de reboisements.

Les marais salants ont connu dans la même période une baisse sensible car passant de 1192,17 ha soit 0,18 % à 1411,5 ha soit 0,21%

Les tannes ont vu leur surface augmenter toujours 81968,81 ha en 1986 soit 12,23% 14,46% en 1999, 15,28% en 2006 et 15,28% soit 102408,93 ha.

Chapitre 7: Impacts géomorphologiques et environnementaux dans les régions de bordures.

7.1. Les impacts géomorphologiques

7.2. Les impacts sur les ressources hydriques

7.2.1. Les eaux de surface

7.2.2. Les eaux souterraines

7.3. Les impacts sur la nature et l'état des sols

7.3.1 Les sols de mangroves.

7.3.2. Les types de sols du Sine-Saloum

7.3.3. Sols du bassin versant et des régions de bordures

7.3.4. La dégradation des sols au niveau du bassin arachidier

7.4. Les impacts sur la nature et l'état de la végétation

7.4.1. Sur les forêts de mangroves

7.4.2. Sur les autres types forêts

7.4.2.1. Sur la répartition spatiale des forêts

7.4.2.2. Sur l'évolution des Forêts classées des années 1930 aux années 2010.

Conclusion.

Introduction.

Dans le contexte de changement climatique, les perturbations d'ordre géomorphologique et environnemental sont liées aux phénomènes suivants :

- la fonte des glaciers et des calottes glaciaires, entraînant une montée du niveau marin accentuant le système d'érosion côtière ;
- un changement dans le régime hydrologique des cours d'eau ;
- une modification de la circulation des masses d'eau ;
- un accroissement des catastrophes naturelles comme les inondations, les sécheresses et les incendies.

De par les modifications dans les températures, dans les régimes de précipitations et dans la concentration atmosphérique en CO₂, le fonctionnement des écosystèmes se trouve modifié, aussi bien au niveau du fonctionnement de la végétation que de celui du sol.

Mais, dans le cas de changement climatique progressif, les impacts sont surtout à long terme et sont visibles au niveau planétaire.

Le réchauffement planétaire a des conséquences sur la dynamique océanique puisque l'augmentation de la température de l'océan en particulier dans certains secteurs, comme l'Atlantique nord, peut provoquer une augmentation de la fréquence des tempêtes.

L'air froid polaire confronté à un air plus chaud qui provient de la dérive Nord-atlantique est la source de perturbations plus violentes.

Au niveau mondial, beaucoup d'organismes fluviaux ont vécu le changement climatique en cours.

« Dans le bassin du Mississippi, les précipitations ont augmenté de 10 % et le débit du fleuve de 22 % de 1949 à 1997 ».

Au niveau global, les impacts sont perceptibles à travers une modification des conditions océanographiques et du cycle de l'eau, le système d'érosion et la recrudescence de l'érosion côtière.

En effet, les niveaux de salinité des mers vont évoluer à la baisse, cela va influencer sur les températures et la densité des eaux. L'augmentation de la température entraîne une dilatation thermique diminuant la densité, une légère modification du schéma de la circulation océanique de surface. Le Gulf Stream transporte des eaux chaudes des tropiques vers l'Atlantique nord, et la chaleur dégagée dans l'atmosphère contribue à la douceur des températures dans l'Europe.

Au niveau planétaire, les principaux impacts biophysiques des changements climatiques considérés comme très probables à probables (*McLean et al.* 2001) sont décrites sur le tableau suivant 117 :

Tableau 108: Impacts physiques des changements climatiques et leurs conséquences en zone côtière

Principaux impacts physiques	Conséquences attendues
Elévation du niveau marin	Recrudescence de l'érosion côtière Inondation des zones côtières basses Salinisation des eaux et des sols Risques de disparition des mangroves
Augmentation des hauteurs de houle	Recrudescence de l'érosion côtière
Réchauffement des eaux océaniques	Modifications de la structure et de la composition des espèces marines (poissons et oiseaux de mer) Développement d'agents toxiques dans les animaux marins
Modification des upwellings	Modifications de la structure et de la composition des communautés marines

McLean et al. (2001)

Dans ce chapitre, sont analysés les impacts géomorphologiques et les impacts environnementaux des milieux de bordures, en mettant l'accent sur l'évolution des stocks hydriques superficiels et souterrains, les types de sols et leurs états, le comportement des forêts de mangroves, la nature et l'état de la végétation en général et de la mangrove en particulier.

7.1. Les impacts géomorphologiques.

En milieu tropical, l'érosion des sols est la forme de dégradation la plus connue à travers le monde. L'ampleur de ses manifestations et la gravité des dégâts associés à son expression ont, depuis longtemps, retenu l'attention des chercheurs. Clark et *al.* (1986) estiment que l'érosion mondiale aurait passé, dès son apparition à nos jours, de 16.4109 t/an à 91.1109 t/an.

Ils considèrent que son apparition est consécutive à celle de l'agriculture.

Les sols les plus sensibles à l'érosion éolienne sont les sols meubles, secs, à structures particulières. Ils sont souvent riches en sables fins, assez pauvres en argiles et en matière organique (Combeau, 1977). C'est le cas de la plupart des sols dans le bassin du Saloum.

Dans le cadre du Sénégal, pays en grande partie soudanienne, la sécheresse persistante et ses corollaires, la désertification, représentent pour ses écosystèmes, des contraintes qui se manifestent par une baisse de la hauteur des nappes, une réduction du couvert végétal, une intense érosion éolienne, une extension des tannes, une dégradation de ses mangroves, une salinisation et une acidification de certaines terres, et enfin une migration des dunes provoquant un ensablement des rizières ou des cultures maraîchères. Tous ces phénomènes sont perceptibles dans les régions de bordures du Saloum où les rizières et les cultures maraîchères, n'existent plus. Le phénomène de ravinement est perceptible le long des voies de communications entre Malem Hodar et Nguenth parthé le long de la vallée fossile du Saloum, dans la Commune de Ndiognick, Département de Birkelane et presque partout dans les îles comme le montrent ces photos 22 prises aux estrans de Dionewar en 2008.

Photo 22: érosion aux estrans de Dionewar





Clichés Faye G (2008)

Les changements climatiques sont encore remarquables dans les écosystèmes côtiers et marins comme les forêts de mangroves, mais aussi, vont affecter les ressources hydriques et pédologiques.

Selon Lefèvre Balleydier Anne (2009), dans les pays tropicaux, d'autres indices peuvent témoigner de la dégradation des écosystèmes. Il s'agit:

«- du rétrécissement et la disparition des points d'eau superficiels : marigots, mares, lacs, étangs ; de la disparition des points d'eau sous les effets conjugués du déficit pluviométrique, de l'évaporation, de l'ensablement et de l'envasement. C'est le cas actuel dans toutes les régions de bordures du Saloum où presque toutes les mares ont tari ou sont atteintes par la salinité. En plus, dans le domaine insulaire, les puits d'eau douce sont rares voire inexistants. Dans ces conditions, comment vont se comporter les ressources hydriques souterraines dans les écosystèmes estuariens et dans les régions de bordures du Saloum en particulier?

7.2. Les impacts sur les ressources hydriques.

Dans le cadre général de l'Afrique, particulièrement au Sahel, les cours d'eau ont connu les impacts de la sécheresse par la baisse de leur débit. Cela est confirmé par Sircoulon (1985), qui avance que « l'évolution des cours d'eau allochtones du Sahel depuis le début de la grande sécheresse de 1968 et jusqu'en 1985 comporte :

- une baisse des volumes annuels écoulés;
- une chute maximum des crues ;
- un creusement des étiages: le Sénégal à Bakel, le Niger à Niamey, le Chari en amont de sa confluence avec le Logone se sont arrêtés de couler ».

Sircoulon (1992), résume dans le tableau 118 suivant l'évolution des débits de 1967 à 1985 et fait constater une baisse partout, baisse qu'il lie aux effets des sécheresses des années 1970 et 1980.

La faiblesse des précipitations est aussi signe de décadence climatique.

Tableau 109: Apports des cours d'eau allochtones du Sahel en m³/s

	Sénégal à Bakel	Niger à Koulikoro	Bani à Douna	Chari à Ndjaména	Total
Début des observations (1985)	22,3	46,2	17,3	35,1	120,9
Début des observations (1967)	24,7	48,7	22,1	40,4	135,9
Période 1968-1985	13,7	37,7	8,3	24,6	84,3
Année 1984	6,9	20,1	2,2	6,3	35,5

Sircoulon, (1992)

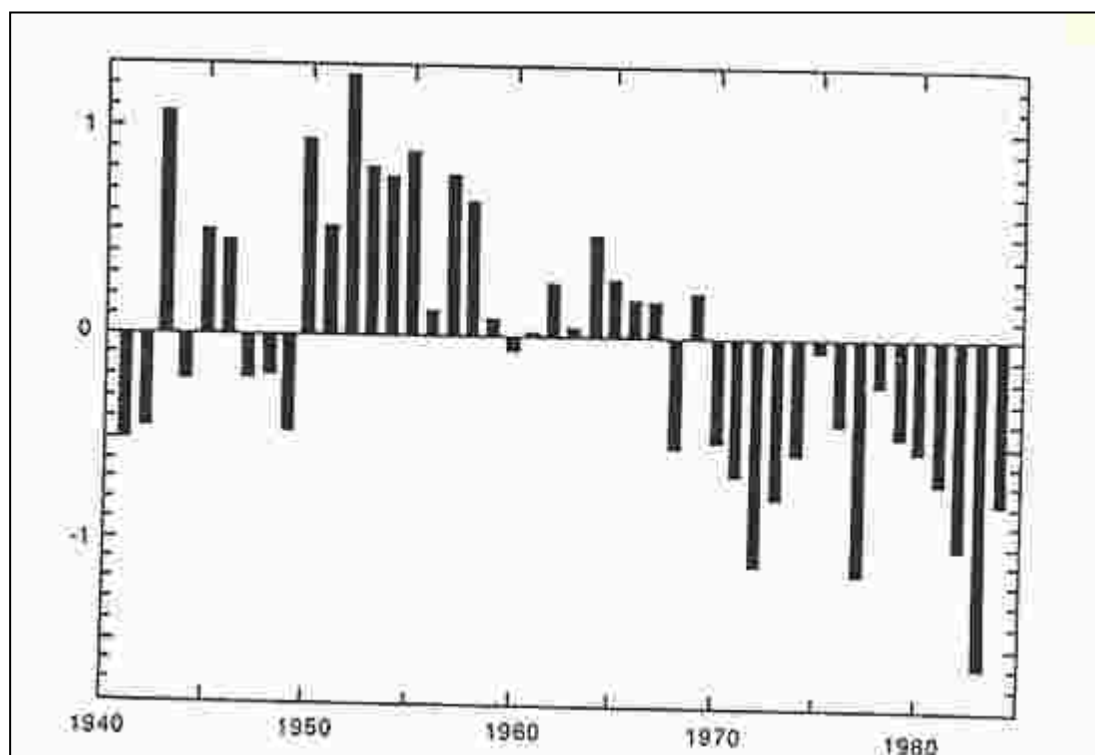


Figure 44: déficits et excédents des précipitations de 1941 à 1982 en Afrique de l'ouest. Mainguet M (1995).

La figure 47 : montre les déficits et les excédents des précipitations de 1941 à 1982 pour 20 stations météorologiques d'Afrique de l'Ouest subsaharienne entre 1° N et 19° N à l'Ouest de 10° à l'Es

La sécheresse a sévèrement affecté ces organismes fluviaux et lacustres. Pour preuve, on constate une diminution de leur débit, une réduction de la largeur de leur lit et de leur

profondeur. C'est ainsi que la faiblesse des débits actuels a été notifiée par Mainguet M (1995) qui souligne que « les apports annuels sont pour:

- le Sénégal, de Bakel à Saint-Louis, de 24 milliards de m³ ;
- le caractère de violence et d'hétérogénéité des crues dans le temps et l'espace s'explique par des causes climatiques, géomorphologiques et biologiques.

***Climatiques :**

- brièveté des averses convectives qui ne durent que quelques minutes à un couple d'heures,
- intensité des averses ; Sircoulon (1992) cite des valeurs de « 150 mm/h en 5 minutes avec des totaux annuels de 100 à 200 mm »,
- rareté des averses, une dizaine par an en zone saharo-sahélienne, une cinquantaine à la sortie du monde sec vers 750 mm ;

***Géomorphologiques:** variation des valeurs des pentes, nature du sol, rugosité et surtout différents degrés de perméabilité.

***Biologiques:** faible densité de couverture végétale ».

D'autres explications tiennent à la nature du relief caractérisé dans l'ensemble par la platitude, la monotonie et l'homogénéité des paysages, la présence presque partout d'un stock sableux disponible favorisant l'érosion. C'est l'opinion de Mainguet M (1995) pour expliquer le drame lié à la sécheresse. En effet selon lui, « les moindres disponibilités en eau des régions sèches d'Afrique où, en outre, la platitude du continent favorise le déploiement des courants éoliens abrasifs pour les sols et desséchants pour la végétation, expliquent le drame des trois dernières décennies en Afrique, résultant à la fois de la géographie et des difficultés de la société à s'adapter ».

Dans le cas particulier du Sénégal, même s'il est défavorisé par ses conditions climatiques, le pays est pourvu d'énormes quantités d'eaux de surface et d'eaux souterraines. Selon le CSE (2005) « avant 1970, le Sénégal recevait, en moyenne, 176 milliards de m³ d'apports pluviométriques qui sont passés à 132 milliards après 1970, soit une perte d'environ un quart des volumes d'eau reçus ». Les eaux douces se rencontrent au lac de Guiers, dans le bassin de l'Anambé, les vallées fossiles du Sine, du Saloum et du Ferlo, auxquels s'ajoutent des marigots ou bas-fonds surtout les régions de l'Est et du Sud. Le Sénégal dispose « de 35 milliards de mètres cubes d'eau en surface (les cours d'eaux) par an et de 500 milliards de mètres cubes d'eau souterraine par an dont les bassins sédimentaires constituent 4/5 de la réserve et le dépôt cristallin 1/5.

7.2.1. Les eaux de surface.

Pour HOME (2008) « le niveau des écoulements a subi une baisse sensible de l'ordre 58 %, passant de 24 Milliards de m³ par an pour la période 1900-1968 à 14 Milliards de m³ entre 1968 et 1987 » pour le Sine-Saloum. En plus, la salinisation se fait sentir sur l'ensemble du réseau en faisant une mer épicontinentale. Or, dans le cadre d'un estuaire, Olivery et *al* (1981) « ont mis en évidence, pendant la saison sèche, un fonctionnement classique de progressive salinisation du réseau hydrographique soumis à l'influence des marées; cette progressive salinisation, dans le temps et de l'aval vers l'amont, est due à une compensation des pertes par évaporation par un excédent des volumes du flot (venu de l'aval) par rapport aux volumes du jusant (ces volumes sont induits par l'onde de marée) ».

A ces écoulements de surface, s'ajoutent quelques cours d'eau saisonniers comme « le bassin d'une superficie d'environ 50 km² qui constitue l'aire d'influence d'une petite rivière (la Néma), une des innombrables vallées qui incisent le plateau du Continental Terminal du bassin sédimentaire Sénégal- Mauritanien » (Malou Raymond et *al* 1991).

Enfin, à part les grands cours d'eau pérennes comme le Saloum (412 km), le Sine (205,7 Km), le Bandiala, le Soundougou, le Nianing-Bolong et le Diomboss, la région de Fatick est traversée par d'autres vallées comme le Djikoye et la vallée de Thiakor qui se prolonge jusqu'en amont de Faoye.

Dans la Commune de Loul Sessène, les eaux de surface sont localisées dans la partie Est et sont constituées par les ramifications du bolong allant de Ndangane à Faoye. Tandis que dans la partie ouest, s'allonge la vallée de Boyard qui constitue un cours sur plus de 13 km. A cela s'ajoute un nombre important de mares et marigots (au moins 121).

7.2.2. Les eaux souterraines

Au niveau africain, les nappes s'approfondissent de plus en plus dans les régions tropicales humides, d'où la nécessité de sur-creuser la plupart des forages villageois surtout dans le Saloum. Pourtant, selon le CSE (2003), « le niveau actuel de prélèvement d'eau douce dans la région ouest-africaine ne représente pour le moment qu'une faible proportion (moins de 2 %) des disponibilités totales de la région en ressources renouvelables (plus de 1000 milliards de m³ ».

Selon la profondeur, quatre grands groupes de nappes sont recensés dans le pays ; les nappes du Continental Terminal et du Quaternaire, les nappes calcaires tertiaires, les secondaires et les nappes du socle.

La nappe du CT existe presque partout dans le pays et la région du Saloum recèle les eaux des sables quaternaires, celles de l'Oligo-Miocène et du Maestrichtien qui couvrent les 4/5ème du territoire national.

La région de Kaffrine dispose d'importantes ressources souterraines entre le Continental Terminal (0 à 120 m) et le Maestrichtien (350 à 500 m) de profondeur.

« Le Maestrichtien est exploité par 840 forages, à raison d'environ 205 000 m³ par jour, pour l'approvisionnement en eau des populations rurales. Il représente une réserve de 350 milliards de m³ dont le cœur se trouve dans le Ferlo selon le CSE 2003 ».

D'après le Ministère de l'hydraulique (1994) « à la différence des formations intermédiaires et superficielles, le Maestrichtien, grâce à la dominance de ses faciès sableux à son sommet, recèle un aquifère continu et homogène à eaux douces dont les caractéristiques hydrodynamiques généralement bonnes, sont relativement constantes, ou du moins de valeurs comparables, sur la totalité du bassin sédimentaire sénégalais, constituant ainsi le meilleur réservoir d'eau souterraine du Sénégal ».

La nappe profonde est aussi de loin la plus exploitée actuellement ; elle fournit 44 000 m³/j à la capitale (28 % des eaux souterraines captées pour Dakar) et couvre de nombreux besoins en eau comme ceux des milieux urbains et ruraux (86 000 m³/j), du tourisme de l'industrie et des mines (25 000 m³/j).

Au total, l'aquifère maestrichtien est actuellement exploité à 165000 m³/j soit près de 40 % de l'ensemble des débits soutirés sur les aquifères du bassin sédimentaire sénégalais ».

Mais, les eaux souterraines commencent à être saumâtres surtout dans les zones estuariennes comme au Saloum et dans les zones littorales. Il n'y a plus de puits d'eau douce dans les îles du Saloum et même dans certaines régions parallèles aux bolongs. D'où le constat fait par le Ministère de l'Hydraulique depuis 1994 « les 2/3 orientaux de la nappe ont une concentration en sels dissous inférieure à 1g/l, cependant il est inquiétant de constater que le 1/3 occidental, de sérieuses menaces de salinisation existent. On observe en effet, une profonde pénétration d'eaux à plus de 2 g/l depuis le delta du fleuve Sénégal jusque dans le secteur de Mbacké-Diourbel, qui est en passe de rejoindre une autre pénétration d'eaux salées provenant de la zone de Mbour et du Sine-Saloum et atteignant déjà Tattaguine ».

« Dans toute la zone comprise entre l'embouchure du Saloum et Dagana, la concentration en chlorures des eaux du Maestrichtien est supérieure à la norme OMS de potabilité (350 g/l) ».

Il souligne aussi un autre problème qui est lié à l'excès de fluorure qui, auparavant n'existait que dans le Saloum, mais s'est généralisé presque partout dans le centre du pays à partir des années de sécheresse. Le Ministère de l'Hydraulique (1994) souligne que « le problème lié à l'excès de fluor dans les aquifères du Sénégal est connu par ses effets spectaculaires sur la dentition, mais aussi à long terme, sur le système nerveux. D'après les normes OMS, la concentration maximum en fluorures admissible pour la potabilité de l'eau est de 1mg/l. Or,

sur 1134 mesures des fluorures dans l'eau des forages, on compte 416 forages ou la teneur en fluorures est égale ou supérieure à 1 mg/l dont 250 teneurs supérieures à 2 mg/l, si on décompte ces analyses par unité et système aquifère, on obtient des chiffres du tableau 119».

Tableau 110: Répartition des fluorures dans les aquifères du Sénégal

Unités et système aquifères	Nb de forages avec fluorures	Nb total forages analysés			
	<1g/l	1-2g/l	>2g/l	>1g/l	
Infra basaltique	2	1	0	1	6
Quaternaire	72	1	0	1	73
Continental terminal	117	7	4	11	128
Oligo-miocène	72	12	3	15	87
Total système superficiel	266	21	7	28	294
Eocène	124	31	17	48	172
Paléocène	4	98	54	152	156
Total système intermédiaire	128	129	71	200	328
Total système profond	84	266	162	428	512
Total général	478	416	240	656	1134

Ministère de l'Hydraulique (1994)

Au niveau national, ces aquifères sont exploités comme indiqué dans le tableau 120 ci-dessous

Tableau 111: utilisation des eaux souterraines

Catégories d'utilisation	M3/ jour	M3/an

Consommation Rurale	93750	34218750
Consommation Urbaine	558928	204008720
Cheptel	83718	30557070
Irrigation : culture de contre-saison	5830	212795
Industrie. mine. artisanat. tourisme	42020	15337300
Total	778999	284334635

In HOME (2008)

Mais, ces volumes sont en deçà des besoins nationaux d'où les déficits donnés dans ce tableau 121

Tableau 112: déficit des besoins en eau (L)

Déficit urbain	320222	116881030
Déficit rural	93750	34218750
Total pour la consommation humaine	413972	151099780

In HOME (2008)

De l'avis de la FAO (2008) « au Sénégal, plus de 80 % de l'eau de boisson provient des couches aquifères d'eaux souterraines. Dans certaines des îles, cette importante source d'approvisionnement en eau potable est affectée par une pollution naturelle au fluor plus élevée que la norme maximale de sûreté de l'OMS qui est de 1,5 mg/l. La teneur en fluor peut y atteindre 8,5 mg/l ».

Dans l'ensemble, le bilan hydrique est déficitaire avec 33 % d'indice de dépendance, un important volume d'eau minéralisée, l'importance de l'agriculture devant la faiblesse des précipitations 742 mm/an. Les ressources renouvelables en 1994 sont faibles (3258 m³/an) par rapport aux besoins prélevés 1360.106 m³/an.

Ces tableaux 122 et 123, soulignent l'importance de l'exploitation des aquifères et opposent des besoins croissants aux faibles capacités hydriques dans l'ensemble du territoire national.

Tableau 113: bilan hydrique

Ressources en eau:	années	quantité	
Précipitations moyennes		742	mm/an
Ressources en eau renouvelables internes - totales		26,4	km ³ /an
Ressources en eau renouvelables internes - par habitant	1994	3 258	m ³ /an
Ressources en eau renouvelables globales		39,4	km ³ /an
Indice de dépendance		33,0	%
Capacité totale des barrages	1994	1,6	km ³
Prélèvements en eau:	années		
- Agriculture	1987	1 251	10 6 m ³ /an
- Collectivités	1987	68	10 6 m ³ /an
- Industrie	1987	41	10 6 m ³ /an
Total		1 360	10 6 m ³ /an
par habitant	1987		201 m ³ /an
en % des ressources renouvelables internes			5,2 %
Autres prélèvements		1	10 6 m ³ /an
Eaux usées:	années		
Production	1993	5	10 6 m ³ /an
Traitement	1993	1	10 6 m ³ /an
Réutilisation des eaux usées traitées		-	10 6 m ³ /an

Tableau 114: Irrigation et drainage

en % de la superficie cultivée	1994	2,0	%
Potentiel d'irrigation	1994	400 000	ha
Irrigation, maîtrise totale/partielle: superficie équipée	1994	71 400	ha
Autres marais et bas-fonds cultivés	1994	37 000	ha
Superficie en cultures de décrue	1994	33 000	ha
Superficie totale avec contrôle de l'eau	1994	141 400	ha
- En pourcentage de la superficie cultivée	1994	6	%
- Partie irriguée par pompage	1994	49	%
Gestion des périmètres en maîtrise totale/partielle: Critère			
Grands périmètres > 400 ha	1994	23 135	ha
Périmètres moyens	1994	4 265	ha
Petits périmètres < 50 ha	1994	44 000	ha
Cultures irriguées (Maîtrise totale/partielle)	1993	52 306	ha
- riz	1993	32 000	ha
- maraîchage	1993	8 876	ha
- canne à sucre	1993	7 300	ha
- maïs	1993	2 970	ha
- autres	1993	1 160	ha
Superficie drainée	1994	44 525	ha

In HOME (2008) (tableau modifié)

Au niveau local, d'abord pour le Sine, les résultats des enquêtes menées par Badiane A N et *al* (2000), « indiquent que d'une profondeur de moins de 2 m à Darou Rahmane avant la sécheresse dans la vallée, la profondeur de ses nappes est actuellement descendue à plus de 5 m ». Leurs enquêtes ont révélé aussi que dans la vallée du Sine, l'épaisseur de la tranche d'eau dans les nappes du CT est faible (< 5 m) mais relativement importante dans celle des marnocalcaires (> 20 m), la morphologie de la nappe d'eau douce est assez mouvementée.

Les débits des puits captant les sables sont compris entre -5 et -10 m^3 alors que ceux des forages captant les marnocalcaires sont très variables (120 m^3) avec un rabattement de $11,7 \text{ m}^3$ à Diourbel à $12 \text{ m}^3/\text{h}$ pour $0,20$ de rabattement à Keur Gane. Mais presque tous les puits ont une profondeur supérieure à 30 m et leurs eaux sont saumâtres. Cela est confirmé par nos enquêtes de 2006 et celles de Badiane A N et *al* (2000) qui ont souligné qu'au « nord ou au sud de la vallée du Sine, l'aquifère trouvé dans les marnocalcaires est constitué d'eau saumâtre avec des résidus secs supérieurs à 2 g/l , et donc généralement peu exploitable pour des besoins d'alimentation humaine ».

Badiane A N et *al* en 2000 ont montré que « les débits des forages captant la nappe du Paléocène sont généralement faibles ($< 10 \text{ m}^3/\text{h}$) dans les secteurs des vallées du Carcar et du Sine. Les débits les plus intéressants s'observent au sud de l'axe Bambey-Ndangalma avec des valeurs pouvant atteindre $60 \text{ m}^3/\text{h}$.

La qualité de cette nappe est variable, mais de façon systématique décroît du Sud-ouest (résidu sec $< 1 \text{ g/l}$) au Nord-est (résidu sec $< 2 \text{ g/l}$). Et au bout de 15 ans d'exploitation, le niveau de salinité a fortement augmenté pour certains forages au point de rendre impossible la poursuite des cultures maraîchères." Une exploitation soutenue des ressources en eau, entraîne nécessairement une modification des caractéristiques de l'eau.

- « La nappe maestrichtienne : Elle est captée par les forages de Djilass et de Soudiane.

Sa profondeur dans la région varie entre 200 et 450 mètres. Cependant, les eaux sont impropres à la consommation et à l'irrigation : « la qualité de l'eau est mauvaise dans la partie ouest de la ligne Sokone-Niakhar où le résidu sec est supérieur à 1500 mg/l (PRDI : Plan régional de Développement Intégré de Fatick, 2001 ; (Dial A.A., 1997).

- La nappe du Paléocène : Elle est captée entre 60 et 150 mètres de profondeur dans la région. Elle est un aquifère dans l'Arrondissement de Fimela. Elle est de qualité et de quantité favorables dans le nord de la Commune rurale et à Ndiagamba dans la Commune de Loul Sessène où la concentration en ions fluors (8 mg/l) dépasse les normes de l'OMS

(1,5 mg/l) (Plan Régional de Développement Intégré : PRDI, 2001). Cette nappe est moins saumâtre à Ndiagamba avec 956 mg/l alors que dans l'arrondissement, elle est de 3 000 mg/l, à Djifère, 1 500 à 2 000 mg/l à Samba Dia in Ndong A (2005) », qui ajoute pour la nappe du Continental Terminal en citant (PDL, 2004) que « selon le rapport du programme LOD de Juin 1999, les analyses bactériologiques faites à Djilass, Roh, Faoye et Soudiane Balla, ont révélé que ces eaux sont sous la menace de la pollution d'origine fécale ».

Dans la Commune de Ngathie Naoudé, selon le Projet d'Appui pour la Gestion des Ressources Naturelles (PAGERNA 2003), « les eaux souterraines sont constituées par l'eau des puits et forages alimentés par la nappe éocène, pour les puits et celle du Maestrichtien pour les forages. Ainsi, dans les différents secteurs de la commune, 121 puits ont été recensés dont 49 fonctionnels. Pour mille puits fonctionnels, seuls 18 sont à eau douce et tarissent souvent. L'eau de ces puits est obtenue à des profondeurs variant entre 10 m (secteur de Daga Mignane 1) et 42 m (secteur de Ngoloum). Les deux forages que compte la commune à Ngathie Naoudé et à Ngoloum n'ont pas permis d'améliorer la disponibilité en eau. En effet, le forage de Ngathie Naoudé fonctionnel depuis 1989 a un petit bassin de 100 m³ et dessert uniquement les villages de Ngathie Naoudé et Ngathie peulh. La teneur en fluor de son eau altère sa qualité ».

Pour les eaux de surface, nos enquêtes complétées par celles du PAGERNA (2003) ont révélé l'existence de plusieurs mares et de bas-fonds. « Le nombre de mares recensées dans la commune dépasse 40. Parmi ces mares, celles de Kofel, Kodiolèle, Yolane, Kandiali, Ndiambourole, Degg bou Mag et Sowor tarissent en janvier-février et elles sont toutes ensablées. Il existe aussi 02 bas-fonds, l'un traverse la commune dans sa partie nord et l'autre traverse la zone de Ngathie Naoudé d'Ouest en Est, au Sud de la Route Nationale.

Les bas-fonds sont tous ensablés mais ils ont encore une importante capacité de stockage en eau surtout en année pluvieuse. C'est pourquoi, ils pourraient faire l'objet d'une étude de faisabilité pour connaître le type d'aménagement à faire surtout pour le 2ième bas-fond qui est de plus en plus menacé par la salinisation ».

La Commune de Ndiaffate capte les eaux souterraines des différentes nappes qui sont :

Le Maestrichtien qui est la source d'alimentation des quatre forages mais ses eaux sont saumâtres. Le Paléocène qui est constitué d'eau saumâtre du fait de fortes teneurs en sel. Il a une profondeur de 35 m et alimente la quasi-totalité des puits. Le Continental Terminal présente des lentilles d'eau de faible épaisseur (environ 7 m).

Dans la Commune de Loul Sessène, les eaux souterraines proviennent de la nappe phréatique dont la profondeur varie entre 15 et 40 m en fonction des lieux, mais aussi de la nappe maestrichtienne. Elles alimentent 205 puits et 07 forages.

Conclusion.

A l'instar de l'ensemble du Bassin Arachidier, tout le Saloum souffre du problème de l'eau en termes de déficit, de pollution, de fort taux en fluor, en plus de la salinité et de l'acidité. Enfin, les difficultés liées au manque d'eau sont plus perceptibles dans les Départements de Foundiougne et de Fatick et particulièrement dans les îles.

7.3. Les impacts sur la nature et l'état des sols

Le système morphogénique souvent, change à la suite des variations climatiques. « Ainsi, les anciens sols sont – ils dans beaucoup de cas, inadaptés aux conditions bioclimatiques actuelles et constituent alors des paléosols ».

Selon, Michel P (1973), plusieurs types de sols peuvent être distingués, mais, il s'intéresse aux sols ferralitiques sur le Continental Terminal. Ils sont développés sur des formations grés-argileuses, kaolinisées profondes et sont des caractéristiques des zones humides. Les sédiments déposés par les bolongs dans les plaines alluviales proviennent des sols rouges ferralitiques sur les bas plateaux du Continental Terminal qui longent les estuaires. Ces sols sont composés de trois principaux éléments: kaolinite, quartz et oxydes de fer. Auxquels s'ajoutent, en surface des traces de minéraux comme l'illite-chlorite et le chlorite et les argiles montmorillonites ».

7.3.1. Les sols de mangroves.

Ce sont des sols caractérisés par la salinité, et souvent l'acidité.

De plus, la dégradation des conditions climatiques depuis des décennies au sud du Sahara, peut être source d'accélération de l'évolution des sols de mangrove vers les sols sulfatés acides. Et selon Guiral D et al (1999) « les caractéristiques physiques initiales des sols de mangrove, résultent des processus hydro sédimentaires qui déterminent leur granulométrie (et donc leur porosité), ainsi que leur fréquence de submersion (et donc leur salinité) ».

Les sols reçoivent aussi d'autres sédiments d'origine continentale, sédiments piégés par les racines des palétuviers. Mais ce piégeage est remarquable dans les zones abritées ; ce qui fait le constat de Guiral D et al (1999) « le développement des systèmes racinaires, en stabilisant les sédiments, favorise la sédimentation et contribue à un accroissement rapide des dépôts.

Les conditions favorables à cette accumulation sédimentaire se rencontrent dans les zones abritées des forts courants côtiers et de l'action de la houle ». Et pour (Dent, 1986) cité par Guiral D (1999 et *al*), Ces zones correspondent « à des deltas et à des estuaires ainsi qu'à des côtes protégées par des cordons littoraux ou des archipels ».

Ces sédiments contiennent de la matière organique et des éléments minéraux qui entrent en réaction chimique par différents processus. Compte tenu de l'existence d'un important stock de fer d'origine géochimique au sein des sédiments, les sulfures produits par la réduction bactérienne des sulfates sont précipités essentiellement sous forme de pyrite de mangrove d'estuaire. Cette prépondérance de la pyrite, qui peut représenter la quasi-totalité du soufre réduit, constitue une caractéristique des sols de mangrove (Guiral D et *al* 1999) ».

Les différents processus d'altération chimique ont fait distinguer Guiral D et *al* (1999) deux types de sols dans les mangroves :

- « - les sols initiaux de mangrove dominés par les processus de réduction des sulfates et de "pyritisation" ;
- les sols sulfatés acides évolués et dominés par les processus d'oxydation, d'acidification et de salinisation ».

Delvienne Quentin (2003-2004) souligne que « du point de vue morphologique, le développement des profils se manifeste essentiellement par l'apparition d'un horizon de couleur purée de marron et à consistance de beurre, lié à la décomposition des amas fibreux et par la présence de taches de jarosite résultant de l'oxydation de la pyrite dans les horizons superficiels des tannes vifs. Et selon Marius C, (1995) « dans l'ensemble, les profils sont peu évolués. Du point de vue chimique, les deux caractères dominants des sols de mangrove du Sénégal, sont l'acidité potentielle et la salinité, l'une étant liée au stock relativement important de soufre et l'autre à l'influence de la mer. Les sols de mangrove au Sénégal sont tous potentiellement acides et salés ».

Ces sols sont affectés par une dégradation qui paraît irréversible surtout dans les mangroves et dans les terres de cultures où se remarque un processus de "tannification" favorisé par la faiblesse de la topographie.

Enfin, selon le MEPN-DPN(1999) « ces sols se rencontrent dans les zones à topographie plane, inondée pendant l'hivernage par les eaux de pluies et sur les micro-dunes, dans les dépressions, zones planes des glacis de raccordement, les terrasses moyennes et les terrasses hautes enclavées par les chenaux de marées ».

Dans la région du Sine-Saloum, l'acidité est plus remarquable or cette « acidification prolongée entraîne une altération et une déstructuration des minéraux argileux et conduit à

une libération de l'aluminium, de la silice et des cations qui, en cristallisant à la surface des sols, constituent des efflorescences salines (Le Brusq et *al*, 1987 in Guiral D et *al* (1999).

Ce phonème contribue à l'extension des tannes.

Dans ces types de sols, Vieillefon J (1977), indique que « la remontée due aux pluies est plus rapide que la baisse due à l'évaporation, et la submersion par l'eau douce est plus importante dans le tanne que dans la mangrove.

Les variations pluviométriques ne semblent pas avoir d'influence notable sur le régime hydrique. Dans le tanne, c'est l'évaporation qui conditionne la durée pendant laquelle une certaine tranche de sol se trouve en condition d'aération.

A la profondeur de 20 cm, le temps d'aération passe de quelques jours dans la mangrove après de 3 mois à la limite mangrove-tanne et à plus de 5 mois au centre du tanne, où la nappe s'abaisse près de 1 mètre sous la surface ».

« Les sols halomorphes ou tannes, situés immédiatement à l'arrière de la mangrove couvrent environ 140 000 hectares du bassin versant du Sine Saloum et leurs caractéristiques morphologiques et physico-chimiques sont liées à leur position topographique et à la dynamique du réseau hydrographique » selon Sadio, (1989).

La teneur de l'analyse faite par Diagne Sakhir (1996) est convaincante sur la répartition des sols selon le critère aptitude. Selon lui, « l'aptitude pédologique constitue le second facteur limitant pour l'utilisation agricole des terres.

Cette aptitude dépend de l'existence ou non de diverses contraintes, d'ordre :

- morphologique, topographique, existence ou non de pente forte ;
- pédologique: texture des sols, composition physico-chimique, sols squelettiques ou cuirassés, graveleux ou sableux, sol lourd ou léger, profond ou superficiel, acidité, salinité...

En référence à leurs aptitudes pédologiques, les sols du Sénégal ont été regroupés en cinq classes :

- sols de classe 1 : sols bons sans facteur pédologique limitant significatif, notamment ceux des vallées alluviales à rendements élevés. Ils sont essentiellement localisés dans la vallée du Sénégal et représentent 7 % des sols du pays ;
- sols de classe 2 : sols moyens à bons avec des contraintes faibles à moyennes pouvant en réduire l'utilisation ; possibilités de rendement moyen, à élevé en cultures traditionnelles. Ils représentent 8 % des sols;
- sols de classe 3 : sols pauvres à moyens connaissant un ou plusieurs facteurs limitatifs, donnant des rendements faibles ; 36 % des sols du pays ;

- sols de classe 4 : sols pauvres où les contraintes pédologiques ne permettent que des rendements médiocres en cultures traditionnelles ; 31 % des sols ;
- sols de classe 5 : sols inaptes aux cultures en raison de contraintes importantes qui n'autorisent qu'une utilisation agricole marginale ; 16 % des sols.

Au total, près de la moitié des sols du pays (47 % cl 4 et 5) sont inaptes ou médiocres pour la production agricole ».

L'érosion combinée à la salinité a contribué largement à la réduction des superficies cultivables au fil du temps.

Tableau 115: Bassins versants et irrigation

Réseau hydro	Longueur en km	Superficie en km ²	Superficie irriguée	Populations bénéficiaires
Ferlo	1300	22330	12000	630000
Sine	260	6120	6000	950000
Saloum	370	6.500	6.000	200.000
Carcar	300	6500	6000	880000
Baobolong	150	2930	3000	100000

Diagne S (1996)

Actuellement, les surfaces arables sont conformes aux données avancées par Diagne S (1996) qui souligne que « seuls 19 % de la superficie du pays, soit 3,8 millions d'ha sont constitués de terres arables dont 57 % dans le bassin arachidier ; 20 % en Casamance, 10 % au Sénégal oriental et 8 % pour le Fleuve. Environ 65 % des terres arables sont en moyenne cultivées chaque année dont 96 % en cultures pluviales et 2 % en irriguée. Les taux d'exploitation les plus élevés se rencontrent dans le bassin arachidier (81 %), les Niayes (65 %) contre 40 % en Casamance et au Sénégal oriental ».

Les sols sulfatés acides couvrent 33 % de la superficie du Département de Fatick (PLD, 2004).

Selon Ndong A (2005) « dans le cas de projets d'aménagement de la vallée de DIOSIROH, la fédération inter-villageoise des organisations pour le développement durable (FIOD) en collaboration avec le cabinet SENEGROSOL a procédé en 1997, à une étude pédologique des terres de la vallée mise sous aménagement hydro-agricole au laboratoire de l'IRD.

Les résultats ont montré l'existence de cinq types de sols :

- des sols ferrugineux tropicaux;
- des sols parasulfatés acides évolués;
- des sols parasulfatés acides peu évolués ;
- des sols sulfatés acides à jarosite profonde;
- des sols sulfatés acides à jarosite peu profonde.

Dans l'autre grande vallée de la zone (la vallée de Mbissel), une autre étude dans le cadre d'un projet d'amélioration de la situation alimentaire des communes dans la zone d'action du C.O.G.I.V. (Comité de Gestion Intervillageois de la Vallée de Mbissel).

7.3.2. Les types de sols du Sine-Saloum

Le Sine-Saloum est le domaine des sols ferrugineux lessivés et des sols ferrallitiques surtout sur le bas-plateau du CT. Des sols calcaires et des vertisols sont remarquables sur l'axe Mbour-Joal. A cela, s'ajoutent les sols de mangrove qui sont dus au « colmatage progressif par des dépôts de vase des golfes que la mer avait formés en Basse Casamance et au Sine-Saloum. Sur ces sols de mangrove gris-noir et gorgés d'eau poussent les palétuviers (Michel et Sall, 1984)». Il ressort des travaux menés par les spécialistes comme Sall MM (1983) et Diop E.S (1986), que « la pédogénèse est essentiellement orientée par la durée de la submersion et la nature du substrat. On a deux types de sols dans l'ensemble, mais un seul pour le Diomboss. Celui-ci est constitué par des argiles de texture hétérogène à dominante nettement sableuse. La vase est molle, visqueuse et plastique riche en racines en matière organique surtout en profondeur (40 cm) ».

7.3.3. Sols du bassin versant et des régions de bordures

« La présence quasi constante de sédiments sablo argileux bariolés riches en matière organique, à l'aspect gris bleuté explique les accumulations de sesquioxydes et de fer dans ce milieu anaérobie (communication orale de C Marius à Diop E.S 1970) ».

La carte pédologique des îles du Saloum élaborée par Marius C (1977) présente deux grands types de formations sableuses.

« - les sols sableux des cordons qui forment au plan morphologique, deux bandes parallèles alignées NNW/SSE, dont l'une est située à côté de la mer, allant de Djinack au Sud à Dionewar au Nord en passant par Bétenti ; la seconde est localisée à l'intérieur du continent et couvre une grande partie de l'île Bétenti tout en formant un escarpement au niveau de Ndangane Touti et Sipo.

- les sols minéraux et les sols peu évolués qui occupent les terrasses marines sont bien représentés au nord du Diomboss, au niveau des îles Gandoul, de Ngadior à Bakalon en passant par Bassoul, et du bolong Guilor aux formations du Continental Terminal. Selon le même auteur, ces grands ensembles peuvent être éclatés : en sols minéraux bruts qui occupent l'essentiel des plages sableuses de la côte, en sols peu évolués bien représentés au niveau des îles Bétenti, en sols halomorphes localisés au niveau des tannes vifs (souvent désignés sous le terme de sols sulfatés acides), en sols hydromorphes sur les tannes herbacés, et calcimagnésiques localisés à l'emplacement des amas artificiels de coquilles ».

Le long du Sine, dans la Commune de Diakhao, se rencontrent plusieurs types de sols (5) selon les paysans :

- les Sols ferrugineux tropicaux : représentent 30 % des terres et ils se localisent dans les parties Sud-est et Sud-ouest. Ils sont très peu fertiles et propices aux cultures pluviales ;
- les Sols argileux – hydromorphes : constituent 5 % de la superficie et sont identifiés dans la partie Sud-est. Ils sont riches en matière organique et favorables au maraîchage ;
- les Sols argilo-sableux : couvrent 60 % du terroir et forment en grande partie le nord et le centre de la Commune. Ils sont appauvris par l'agriculture ;
- les sols salés : communément appelés tannes, ils s'étendent sur 87 ha soit 1 % des terres. Localisés à l'ouest sur la ligne Nord-sud, ce type de sols présente une salinité qui le rend impropre à l'agriculture ;
- les bas-fonds : ils se localisent au Nord-ouest en général et plus particulièrement dans les zones de dépressions où ils font 4 % du terroir. Ils sont très favorables pour le maraîchage, mais cette activité n'existe plus ;

Dans le Saloum, la Commune de Ngathie Naoudé comporte les types des sols suivants selon le rapport de juillet 2003 élaboré par le PAGERNA.

« - les sols « deck-dior » qui représentent 1/5 de la superficie de la Commune et sont localisés en particulier dans les terroirs de Ngathie Naoudé, Daga Mignane et Ngoloum.

- les sols « Deck » très localisés, ne représentent que 04 % de la superficie totale.

On les rencontre dans les zones de dépression. Leur présence est très remarquée aux environs de Ngathie Keur Oldy.

LEGENDE

• Localités

Sols

- sols hydromorphes, sur matériau sableux
- sols peu évolués d'apport
- sols hydromorphes à gley salé
- sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés
- sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés
- sols minéraux bruts ou sols peu évolués d'apport hydromorphe
- sols minéraux bruts ou sols peu évolués d'apport
- sols peu évolués d'apport hydromorphe, avec sols halomorphes
- sols hydromorphes organiques plus ou moins tourbeux, avec sols halomorphes
- sols halomorphes salins acidifiés et sols hydromorphes organique (a: phase alluviale)
- sols hydromorphes à gley salé et sols halomorphe salins hydromorphes
- sols halomorphes salins hydromorphes moyennement salés
- sols peu évolués d'apport
- sols ferrugineux tropicaux lessivés plus ou moins remaniés sur matériau dunaire, tronqués, indurés, sols peu évolués
- sols ferrugineux tropicaux parfois hydromorphes
- sols hydromorphes et sols vertiques
- sols calcimorphes, ou sols brun hydromorphes, sur matériau à lit gravillonnaire
- sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés
- Cours d'E au Permanents Surficiels

7.3.4. La dégradation des sols au niveau du bassin arachidier

Concernant l'aire d'étude, partie intégrante du Bassin arachidier, les principaux phénomènes tournent au tour du tarissement des points d'eau, de la salinisation des nappes phréatiques, de l'insuffisance et de la déficience des infrastructures hydrauliques qui ont aggravé la réduction des espaces agricoles et pastoraux. A cela, s'ajoute l'érosion éolienne, hydrique et chimique (saline) entraînant l'épuisement, la salinisation et l'acidification des sols.

Dans les régions de bordures, se remarquent des sols dégradés et vulnérables à l'action éolienne, des sols qui ne se régénèrent pas, une fertilité des sols est en déclin et la dislocation des structures pour certains, a des conséquences négatives.

Dans le Bassin arachidier, « le paysage est cependant marqué par la présence de parcs arborés à *Faidherbia albida*, espèce ligneuse conservée dans les champs pour ses capacités fourragères et d'enrichissement du sol en azote, » Charreau et al (1996) et Jung, (1987) et où se rencontrent les systèmes d'érosion à dominante hydrique et éolienne, et où des processus de météorisation s'effectuent. Ces processus sont accompagnés par une salinisation à multiples origines :

- « la salinisation par remontée capillaire : les très fortes températures de la saison sèche (25 à 45° C) sur le sol et à travers le sol favorisent l'évaporation des solutions de sels.

Il en résulte une concentration et une remontée des sels et par conséquent un accroissement de la salinité (Sadio S., 1991) ».

- la salinisation par inondation du sol par les eaux sursalées des cours d'eau : C'est une forme de salinisation importante, courante et très active dans le bassin du Saloum.

Les sols des tannes et les nappes souterraines sont souvent inondés. Cette inondation accentue la salinité du sol des basses terrasses. Ces eaux contenant des solutions en sels s'évaporent et peuvent même laisser sur place des cristaux de sel.

- la salinisation par accumulation des limons salés éolisés.

Le processus d'acidification se déclenche lorsque le pH du sol est inférieur à 7. C'est le cas sur beaucoup de terres au Saloum. « Elle résulte pour une part, de la décalcification, c'est-à-dire de l'appauvrissement d'un sol en ions Ca^{++} (cations alcalinoterreux) du complexe absorbant (Khouma, 2005). Mayer et al, (2002) notent qu'elle se traduit par la modification de l'équilibre chimique du milieu (hydrique, édaphique, ambiant, organique) et rend compte dans certains cas, de la modification de la valeur du pH qui atteint souvent 2,8.

Dabin (1985) distingue, en dehors des sols sulfatés acides, des sols hydromorphes qui se forment dans des conditions particulières d'inondation avec des accumulations souvent très fortes de matière organique acide, deux grands groupes de sols acides :

- les sols naturellement acides sous végétation forestière que l'on retrouve dans les zones humides et subhumides. Il s'agit des sols ferralitiques de la classification française correspondant aux utisols et oxysols de la « Soil Taxonomy » ;

- les sols qui ne sont que moyennement à faiblement acides sous végétation naturelle, mais qui peuvent s'acidifier rapidement après défrichement. Ce sont les sols des régions à climat alterné sous végétation de savane. Il s'agit des sols que la classification française dénomme sols ferrugineux tropicaux lessivés qui correspondent assez globalement aux alfisols tropicaux de la « Soil Taxonomy ». Pieri, (1976) ajoute qu'au Sénégal, « un inventaire mené en 1974 donnait une estimation des superficies atteintes par l'acidité : 25 % de la surface cultivée dans les régions de Thiès et Diourbel, 15 % dans le Sine Saloum, 50 % en Casamance et 6 % dans le Sénégal Oriental, soit environ 43 000 ha ou 21,5 % du total des terres cultivées ».

Un sol est acide quand le pH est inférieur à 5,5. Dans un sol alcalin, le pH est voisin de 8,5.

Dans l'ensemble du pays, le Bureau Pédologique du Sénégal a estimé en 1977, que

« 1.700.000 ha sont touchés par la salinisation ». Selon Lefèvre Balleydier A (2009) « les terres affectées par la salinité dans le bassin du Sine Saloum sont estimées à 230 000 ha dont 90 000 ha dans le domaine continental (Annuaire l'Environnement et les Ressources naturelles du Sénégal, (2000). C'est surtout dans la zone ouest comprise entre

Loul Sessène, Fimela et Faoye qui est la plus touchée du bassin versant avec 50 % des terres de culture affectées par la salinisation et l'acidité (Sadio S., 1991) » cité par Ndong A (2005). Par comparaison avec la Casamance, « des campagnes de mesure réalisées en 1983 et 1984 sur le bassin versant du marigot de Koubalang (Boivin et Le Brusq 1984 et 1985) ont mis en évidence deux faits particulièrement préoccupants :

- d'une part, la présence au niveau des 'tannes' et des vasières, de nappes peu profondes deux à trois fois plus salées que l' eau de mer (80 à 120 mmhos/cm) et de solutions du sol également très chargées (5 à 15 mmhos/cm sur extrait 1/5);
- d'autre part, des niveaux piézométriques inversés qui montrent que ces nappes drainent, en saison sèche des 'tannes' vers le plateau continental.

Sous l'effet du processus évaporatoire intense qui se manifeste pendant la longue saison sèche et chaude (8 mois) cette salinisation qui affecte les sols et les eaux, envahit le paysage masquant l'acidification, avec comme conséquences les plus visibles :

- au niveau des 'vasières, un rétrécissement de la mangrove à *Rhizophora* sur les bras principaux; sa disparition presque totale sur les bras secondaires; son remplacement par une mangrove à *Avicennia* mieux adaptée à l'excès de sel, mais elle-même atteinte actuellement de mortalité massive.
- au niveau des 'tannes', une augmentation considérable des surfaces hyper salées et stériles ('tannes' vifs) développées aux dépens de la mangrove et qui occupent la majeure partie des bassins de la rive droite (Baïla, Bignona, Soungrougrou). Sur le bassin de Koubalang par exemple, la mangrove régresse, de 34 % de la superficie du moyen bassin en 1969, à 16 % en 1984 (Boivin et Le Brusq 1985) ».

Enfin, les processus de dégradation des sols peuvent avoir une origine anthropique par l'agriculture, l'élevage et la déforestation. La FAO estime qu'au moins « 12 millions ha se sont dégradés sous l'effet d'activités humaines depuis 50 ans (Boukhari, 2008) ». Selon cet auteur le surpâturage en aurait endommagé 6,8 millions (dont 2,4 en Afrique et 2 en Asie), la déforestation près de six millions, la mauvaise gestion agricole 5,5 millions et la collecte de bois de feu 1,4 million de Km³. Quant aux villes et à l'industrie, Boukhari Sophie (2008), soutient qu'elles se sont étendues au détriment de plusieurs centaines de milliers de kilomètres carrés de bons sols ».

Le PNUE (2002) a trouvé des résultats semblables à ceux de la FAO. Selon ce programme, le surpâturage explique 35 % de la dégradation des sols, le déboisement 30 %, les conséquences de l'agriculture 27 %, la surexploitation de la végétation, c'est- à- dire le prélèvement excessif de produits végétaux 7 % et l'activité industrielle 1 %.

L'International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) pour sa part note que de la fin des années 1940 au début des années 1990, la dégradation des terres productives est à attribuer, pour plus de 90 % au surpâturage, à la déforestation et à des pratiques agricoles inappropriées » In Diatta I (2009). Selon le CSE, (2008), « la saturation et la dégradation des sols agricoles semblent irréversibles dans le Bassin arachidier. Près de la moitié du pays, correspondant au Ferlo sableux et une bonne partie du Bassin arachidier, est extrêmement sensible à l'érosion éolienne. Puis viennent, par ordre décroissant de leurs superficies, les terres très sensibles à sensibles :

Dans le cadre du Bassin arachidier, « environ 230 000 ha sont détruits par la salinisation et l'acidification, dues à un déficit pluviométrique, qui déterminent la baisse continue de la nappe phréatique » selon le rapport sur l'eau 29-2005.

Dans les régions de bordures, les impacts de l'érosion hydrique sont visibles dans beaucoup de villages ; c'est le cas illustré par ces photos N° 23, 24, 25 et 26.

Photo 23: impacts de l'érosion hydrique à Djanké Souf (Malem Hodar)



Photo 24: impacts de l'érosion à Ndioum Nguenth (Malem Hodar)



Photo 25: Birkelane impacts de l'érosion dans la Commune de Ndiognick
 Dans (village de Ngouye département de Birkelane) le



ment de la
 domaine
 insulaire et
 le long du
 Sine,
 l'accroisse
 superficie
 des tannes vifs, souvent lié au recul de la mangrove, ou aux dépens du bas plateau du Continental Terminal, les efflorescences salines de surface, handicapent le développement du couvert végétal. Pourtant ce Bassin arachidier ainsi que la région de Louga ont connu une extension de leurs surfaces cultivées. Selon Diagne S (1996) « leurs superficies cultivées sont passées de 38 % en 1954 à 69 % en 1979 ». Mais, la région du Sine-Saloum souffre de plusieurs maux relatifs au manque d'eau de surface, à la vulnérabilité de ses sols, à leur baisse de fertilité par suite de l'abandon de la jachère, à la destruction de la structure des sols lourds surtout dans le domaine insulaire.

A cela s'ajoutent l'acidification des terres cultivables le long des cours d'eau, la surexploitation et la réduction des pâturages; de même la dégradation du couvert végétal et l'appauvrissement

Photo 26: impacts de l'érosion dans l'île de Thialane (îles du Saloum)



Conclusion :

En définitive, il ressort de toutes ces idées, que la dégradation des terres n'a que des impacts négatifs et paraît irréversible et que ses causes sont multiples. C'est le résultat de l'étude de Mainguet M (1995) « la dégradation des terres observée est donc plus le résultat de pressions dues à l'homme, majorées par la sécheresse, que de la sécheresse elle-même. Si une désertification irréversible dans le Sahel est difficile à prouver, il semble que ce soit la zone soudanienne nord, avec 800 mm / an de précipitations et les plus fortes densités d'occupation du sol, qui soit la plus sévèrement affectée par la dégradation des sols, non le Sahel proprement dit.

Dans ces conditions de sols dégradés, quelles sont les répercussions sur le couvert végétal insulaire et de celui des régions de bordures?

7.4. Les impacts sur la nature et l'état de la végétation

Les développements qui suivent, proviennent du travail de Chevalier (1938) qui distingue « en Afrique de l'Ouest, six domaines phytogéographiques, parmi lesquels trois sont dominants dans l'aire d'étude :

- la zone des steppes à épineux ou zone sahélienne;
- la zone de la brousse à parcs ou zone soudanienne;
- la zone des savanes sub-forestières avec galeries, ou zone guinéenne.

A cela, s'ajoutent les forêts de mangroves.

***La zone sahélienne :**

La zone sahélienne est caractérisée par le groupement végétal à *Acacia raddiana* très répandu sur les substrats sableux. Il comprend: *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, *Zizyphus mauritania*, *Capparis decidua*, *Aristida mutabilis*, etc. La dégradation du couvert végétal y est marquée par l'extension du *Balanites aegyptiaca* pour le couvert arbustif et du *Cenchrus biflorus* (Cram-cram) pour le tapis herbacé où il se substitue à *Chloris prieri* et *Schoenofeldia gracilis*. Dans cette zone, le tapis herbacé y est discontinu.

***La zone soudanienne :**

La zone soudanienne peut être subdivisée en trois secteurs (Jaeger, 1968):

- un secteur soudano-sahélien (500 à 700 mm de pluviosité interannuelle);
- un secteur soudanien (700 à 1 000 mm de pluviosité interannuelle);
- un secteur soudano-guinéen (1 000 à 1 600 mm de pluviosité interannuelle).

Le secteur soudano-sahélien est caractérisé par deux types de groupements végétaux:

- le groupement à *Acacia seyal* sur sols argileux et le groupement à *Combretum glutinosum* sur sols plus légers ;
- le groupement à *Acacia seyal* comprend des arbres de grande taille: *Adansonia digitata* (baobabs), *Sterculia tomentosa*, dominant des fourrés de *Guiera senegalensis*, *Maytenus*

senegalensis, *Combretum glutinosum*, *Anogeissus leiocarpus* et d'espèces épineuses comme *Balanites aegyptiaca* et *Zizyphus mauritania* ;

- le groupement à *Combretum glutinosum* varie d'une savane arbustive à une savane arborée comprenant, outre de nombreux *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis*, *Boscia senegalensis*, *Grewia bicolor*, *Philiostigma reticulatum*, *Bombax costatum*, *Pterocarpus erinaceus*, *Khaya senegalensis*, *Andropogon gayanus*, etc.

Le secteur soudanien, proprement dit, est caractérisé par la savane arborée comprenant une strate supérieure constituée d'*Adansonia digitata*, *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, *Pterocarpus erinaceus*, etc., une strate moyenne composée de petits arbres et arbustes: *Lannea acida*, *Zizyphus mauritania*, *Tamarindus indica*, *Dalbergia melanoxylon*, *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum*, *Combretum aculeatum*, etc., et une strate herbacée qui se dessèche après l'hivernage: *Andropogon gayanus*, *Andropogon tectorum*, *Cymbopogon giganteus*, *Imperata cylindrica*, etc.

Le secteur soudano-guinéen est occupé par des savanes arborées dans lesquelles on rencontre *Butyrospermum parkii* (Karité) répandu dans toute la zone soudanaise avec *Terminalia macroptera*, *Pterocarpus erinaceus*, *Cordyla africana*, *Parkia biglobosa*, *Khaya senegalensis*, etc., ainsi que des espèces répandues dans les forêts de la zone guinéenne: *Lophira lanceolata*, *Erythrophleum suaveolens*, *Carapa procera*, *Trema guineensis*, etc. De petites galeries forestières se développent le long des cours d'eau.

L'action de l'homme aboutit, dans le secteur soudano-sahélien, à l'abondance de *Faidherbia* (*Acacia*) *albida* et *Adansonia digitata*, dans le secteur soudanien, à l'abondance de *Butyrospermum parkii* et de *Parkia biglobosa* et dans le secteur soudano-guinéen, à l'abondance de *Borassus aethiopium* et *Parkia biglobosa*. Les savanes soudanaises, riches en andropogonées, sont parcourues chaque année par les feux de brousse.

***La zone guinéenne.**

La zone guinéenne forme une large auréole sur la bordure nord de la forêt équatoriale.

Parmi les espèces représentatives de ces forêts, on peut citer: *Lophira lanceolata*, *Vitex doniana*, *Erythrophleum suaveolens*, *Carapa procera* et *Trema guineensis*.

Au niveau de l'ensemble du territoire, Ndiaye P (2000) a souligné les espèces dominantes, comme « le seing (*Acacia raddiana*) le verék (*Acacia senegal*), le soump (*Balanites aegyptiaca*), le jujubier (*Zizyphus mauritania*), le kad (*Acacia albida*) les Combrétacées (de rât). Le Sourour (*Acacia seyal*), le caïlcédrat (*Khaya senegalensis*), le Ven (*Pterocarpus erinaceus*) et le néré (*Parkia biglobosa*), de rôniers (*Borassus aethiopium*) bambous (*Oxytenanthera abyssinica*), le satan (*Daniellia oliveri*) et le tali (*Erythrophleum guineensis*),

le mampatan (*Parinari excelsa*) et de l'iroko (*Chlorophora regia*), le gonakier (*Acacia nilotica*). » A cela, s'ajoutent d'autres espèces comme *Adansonia digitata* ou baobab, *Ficus gnafalocarpa* ou figuier, *Tamarindus indica* ou tamarinier, *Diospyros mespiliformis* (neen), *Detarium senegalensis*, *Detarium microcarpum* (ndang), *Euphorbia balsamifera* (ndamol), les formations arbustives et herbacées. Leur répartition obéit aux divisions climatiques du pays et aux types de sols.

Selon le CSE (2004) et pour rappel, « au total, ce sont 188 espèces ligneuses (9 % des espèces végétales ligneuses et herbacées du Sénégal), regroupées dans 50 familles (30 % des plantes supérieures du pays) qui ont été identifiées au niveau des zones non submersibles.

Les sites les plus riches en espèces sont les forêts de Fathala (125 espèces, soit 66 % du total des espèces ligneuses), de Sangako (81 espèces - 43 %), de Keur Sambel (58 espèces -31 %), de Falia (54 espèces -29 %) et de Sipo (51 espèces - 27 %) ».

7.4.1. Sur les forêts de mangroves.

Les impacts du changement climatique sur la mangrove vont différer selon les stations et selon les espèces, ainsi *Rhizophora* et *Avicennia africana* vont-ils se comporter selon leurs spécificités respectives.

Comportement des *Rhizophora

Pour certains spécialistes comme Blasco (1982), « avec l'augmentation de la température et les faibles apports en eau douce dus au déficit pluviométrique, l'évaporation prend de l'ampleur dans les estuaires et lagunes occasionnant une hausse de la salinité. Or les *Rhizophora* sont des palétuviers très sensibles aux variations du taux de salinité. Dans le nord de l'estuaire du Saloum, Faye et *al.* (2007) ont montré que l'aspect buissonnant (état dégradé) doublé d'un faible taux de régénération des peuplements de palétuviers est dû à des taux de sels très élevés du substrat. Cependant, le caractère de viviparité des *Rhizophora* permettrait de surmonter cet obstacle en récoltant les propagules mûres les repiquant dans des endroits aménagés pour les besoins de reboisement.

Comportement d'*Avicennia africana

En outre, selon Faye I Nd et *al.* (2008), la production de biomasse foliaire chez les peuplements d'*Avicennia africana* est fortement corrélée avec des sols de salinité élevée. Ceci permet ainsi d'espérer que l'augmentation de la salinité dans les estuaires due au changement climatique pourrait ne pas affecter profondément les peuplements d'*Avicennia africana*. Par contre, la longue durée d'immersion des pneumatophores, consécutive à la montée du niveau des eaux constituerait une entrave à l'épanouissement d'*Avicennia africana*.

Les impacts du changement climatique vont entraîner dans certaines zones de la sous-région une modification sur la zonation.

Au niveau de Poutaké par exemple, les palétuviers sont de plus en plus remplacés par des formations occupées principalement par des espèces d'arrière mangrove comme *Sesuvium portulacastrum* ou *Sporobolus pyramidalis*.

Par ailleurs, la baisse des pluies va par voie de conséquence contribuer à la réduction des apports d'eau douce qui, avec la hausse de l'évaporation, conduisent à la salinisation des mangroves. « Ces perturbations du régime hydrologique, la réduction de l'écoulement d'eau douce et sa substitution par de l'eau salée participent grandement à la baisse des superficies de la mangrove [...] les modifications morphopédologiques marquées par une forte salinisation et une acidification des sols ont entraîné une disparition progressive de la mangrove (Dièye et *al.* 2013). L'impact du changement climatique sur les écosystèmes de mangrove se manifeste par le rétrécissement de leurs superficies à cause de l'excès de salinité le long de l'estuaire du Saloum et leur substitution par des sols sulfatés acides communément appelés tannes.

Cette brutalité dans le changement des conditions du milieu minimise la capacité d'adaptation des espèces (faune et flore) qui raréfient à un rythme inquiétant. S'y ajoute l'action des vents qui favorise l'ensablement des mangroves dans l'île de Fayako

7.4.2. Sur les autres types forêts.

Plusieurs chercheurs s'accordent sur le fait que le recul des forêts à cause de la rareté des pluies et des activités humaines soit une menace qui pèse lourdement sur la biodiversité.

« C'est environ 13 millions d'ha de forêts qui sont perdus chaque année par déboisement et selon les estimations, un habitat dont la superficie globale se réduit de 10 %, perd environ la moitié des espèces qu'il comptait à l'origine (Encarta 2007) ». Selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat, (2007) «approximativement 20 à 30 % des espèces végétales et animales étudiées jusqu'ici, connaîtront probablement un risque d'extinction si l'augmentation de température moyenne mondiale dépasse 1,5 à 2,5° C ».

La sensibilité des espèces à l'évolution du climat a modifié de nombreux écosystèmes.

C'est l'exemple de la forêt tropicale où certaines espèces ont disparu ces derniers temps ; de la savane également où la rareté des pluies réduit considérablement la biomasse qui régit la communauté d'animaux qui peuple cet écosystème.

7.4.2.1. Sur la répartition spatiale des forêts

Dans l'estuaire inverse du Saloum et ses régions de bordures, se définissent deux grands espaces : classés et espaces protégés. Quel est le contenu de ces termes ?

« Le domaine protégé est la partie du domaine forestier non classé où s'exerce l'exploitation forestière en l'absence de plan d'aménagement sous contrôle de l'Administration Forestière.

Ce domaine englobe les formations forestières non comprises dans les zones de terroir aménagées à des fins agricoles et pastorales. Le domaine classé couvre 31,71 % de la superficie du pays (Plan d'action Forestier du Sénégal ; PAFS, 1993) et se compose de Réserves Spéciales, des Périmètres de Reboisement et de Restauration, des Parcs Nationaux, des Forêts Classées et des Réserves Naturelles Intégrales » (Gueye S 2000).

***Forêts protégées des régions de bordures.**

Sur le continent, la zone présente de nombreuses espèces floristiques telles que *Daniellia oliveri*, *Cordyla pinnata*, *Pterocarpus erinaceus*, *Bombax costatum*, *Lannea acida*, *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, *Sclerocarya birrea*, *Stereospermum kunthianum*, *Terminalia macroptera*, *Terminalia avicennioides*, *Tamarindus indica*.

Au niveau des zones de terroir où se déroulent les activités agricoles et pastorales, *Cordyla pinnata* est l'espèce ligneuse dominante à cause de son rôle dans les agro - systèmes.

La richesse en termes de diversité floristique et la présence de nombreuses aires protégées font du delta du Saloum, un habitat favorable au développement de la faune.

Giffard (1974) signale que « la végétation pseudo-climacique caractéristique du Bassin arachidier (composé essentiellement de quelques 80 essences, avec prédominance de *Combretum glutinosum*, parsemée d'*Anogeissus leocarpus*, *Cordyla pinnata*, *Khaya senegalensis*, *Bombax costatum*, *Pterocarpus erinaceus* et *Sterculia stiger*) au début du siècle avait déjà disparu en 1974 à cause de l'activité humaine ».

Dans le Département de Mbour, nous rencontrons la forêt classée de Ballabougou qui couvre une superficie de 1106 ha et recèle les espèces suivantes : *Adansonia digitata*, *Acacia albida*, *acacia radiana*, *Ficus gnafalocarpa*, *Tamarindus indica*, *Khaya senegalensis*, *Detarium microcarpum*, *Euphorbia balsamifera*, *Zizyphus mauritania*, *Sclerocarya birrea*, *Diospyros mespiliformis*, *Detarium senegalensis*, *Borassus flabellifer*.

Le long du Saloum, après Kaolack, le parc agro-forestier dominé par *Cordyla Pinnata* (dimb) renferme d'autres espèces comme : *Acacia seyal* (Sourour), *Acacia albida* (kad), *Sclerocarya birrea* (beer), *Adansonia digitata* (gouy), *Prosopis africana* (iir), *Anogeissus leiocarpus* (nguediane), *Strycuos spinosa*, *Borassus aethiopium* (rônier), *Bombax costatum*, *Acacia*

tortilis, *Acacia nilotica* (gonakier), *Balanites aegyptiaca* (soump), *Acacia senegal* (verek), *Guiera senegalensis* (Nguer), *Acacia senegalensis*, *Zizyphus mauritania* (cideem), *Euphorbia balsamifera* (salane)

La forêt classée de Birkelane qui couvre une superficie de 8 100 ha, renferme une diversité d'espèces végétales comme : *Adansonia digitata*, *Sterculia setigera* (mbepp), *Combretum aculeatum*, *Guiera senegalensis*, *Pilostigma reticulata* (nguiguiss), *Diospyros mespiliformis* (alom), *Balanites aegyptiaca*, *Acacia albida*, etc...

Les espèces herbacées, relativement diversifiées constituent l'essentiel des réserves fourragères. Elles sont principalement composées de *Digitaria ciliaris*, *Cenchrus buflorus*, *Chloris prieril*, *Zornia glochidiata*, *Indigofera astragalina*, *Iponica coptia*, *Jaquemontia tamnifolia*, *Corchorus trideus*, *Mitracarpus villosus*, *Andropogon gayanus*.

Entre Kaolack et Foundiougne, la savane arbustive représente un potentiel ligneux diversifié. Elle est composée essentiellement de rât *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis* *combretum micranthum*. Par ailleurs la strate arborée est dominée par la présence d'espèces comme *Piliostigma reticulatum*, *Cordyla pinnata*, *Tamarindus indica*, *Balanites aegyptiaca*.

En saison pluvieuse, le tapis herbacé est très significatif avec le développement des graminées. Les espèces les plus fréquentes sont *Pennisetum pedicelatum*, *Casia tora*, *Cenchrus biflorus*

Forêts classées et parcs.

Le Sénégal compte 242 forêts occupant une superficie de 10557 km². D'autres sources indiquent que « dans le secteur des forêts, le domaine classé est constitué de 234 périmètres classés dont la superficie totale est estimée en 1983 à 19 976 500 ha. Ils sont composés de forêts classées, de parcs nationaux et de réserves. Les forêts classées sont au nombre de 183 et couvrent 2 510 156 ha » et les parcs et réserves au nombre de dix sur une superficie voisine de 100 000 ha de superficie, selon la direction de l'environnement et des établissements classés.

Les critères suivants ont servi de base à la classification par ordre de priorité :

- « - écosystèmes qui possèdent la plus grande diversité d'espèces ;
- écosystèmes qui englobent des espèces en voie de disparition, ou des espèces protégées par une convention internationale, des espèces menacées et des espèces rares ;
- écosystèmes uniques ;
- écosystèmes qui abritent des espèces endémiques ;
- écosystèmes qui jouent des fonctions écologiques clés ;
- écosystèmes qui abritent des espèces à haute valeur économique ;

- écosystèmes qui abritent des animaux et plantes sauvages et qui sont apparentés à des espèces domestiques ;
- la conservation des aires importantes pour les espèces migratrices ;
- aires suffisamment grandes pour le maintien des populations viables pour la conservation des animaux et des plantes supérieures ».

7.4.2.2. Sur l'évolution des Forêts classées des années 1930 aux années 2010.

L'essentiel des classements a été effectué avant l'indépendance du pays. Le bassin versant du Saloum en dispose plus 24 dont les unes internes au domaine insulaire et les autres sur le continent. Le tableau 125 ci-dessous offert par Ndiaye P, nous donne une idée de la répartition des forêts classées dans le bassin versant du Sine Saloum.

Tableau 116: Périmètres, réserves et forêts classées du bassin versant du Saloum.

Forêts, Réserves et Périmètres classés	Départements	Régions	Superficie (en hectares)	Dates de classement	N° d'Arrêtés de classement	Dates de modification d'arrêté	Observations
Samba D	Fatick	Fatick	763	30/06/1936	1536		38Ha clôturés dans le noyau central en 2006
Mahé cor	Fatick	Fatick					
Baria	Foundiougne	Fatick	7.200	17/02/1934	247		
Djilor	Foundiougne	Fatick	1.300	30/06/1936	1538		
Keur Sambel	Foundiougne	Fatick	200	18/12/1950	7072		

Patako est	Foundiougne	Fatick	1.600	08/02/1934	248		
Patako sud	Foundiougne	Fatick	4.350,95	08/02/1934	247		
Sangako	Foundiougne	Fatick	2.140	26/10/1932	2537		
Niombato	Foundiougne	Fatick	100.000	09/12/1977	77-11		Zone d'Intérêt Cynégétique (ZIC)
Saloum	Foundiougne	Fatick	73.000	07/09/1956	7513		Réserve Sylvopastorale
Sokone	Foundiougne	Fatick	295	22/05/1936	1124		
Vélor	Foundiougne	Fatick	6.899	28/06/1935	1437		
Ile Couyon	Gossas	Fatick	600	04/09/1933	2050		
Malka	Gossas	Fatick					
Birkelane	Kaffrine	Kaolack	8.100	26/04/1941	1489		
Delbi	Kaffrine	Kaolack	7.000	05/04/1938	1157		
Kaffrine	Kaffrine	Kaolack	700	12/11/1940	2515		
Kassas	Kaffrine	Kaolack	12.150	03/06/1935	1946	07/06/1953	
Mbégué	Kaffrine	Kaolack	73.000	27/04/1936	890	1991	Réserve Sylvopastorale (RSP) Contrat de culture (45.000ha)
Mbégué	Kaffrine	Kaolack	199.000	09/12/1977	77-113		Zone d'Intérêt Cynégétique (ZIC)
Sagna	Kaffrine	Kaolack	2.410	13/01/1942	571	13/01/42	
Ile Kousmar	Kaolack	Kaolack	1.900	27/04/1936	889	03/03/1937	Moins les rizières
Koutal	Kaolack	Kaolack	1.890	07/11/1936	2823	25/04/1950	
Keur Mactar	Kaolack	Kaolack	650	28/08/1950	4676		

Dans le Bassin arachidier, se constate une évolution régressive des formations forestières avec la rareté ou la disparition progressive de beaucoup d'espèces comme *Acacia macrostachya*, *Faidherbia albida*, *Ceiba pentandra*, *Diospyros mespiliformis*, *Bombax costatum*, *Cassia sieberiana*, *Prosopis africana*, *Sterculia setigera*, *Parkia biglobosa*, *Acacia tortilis* ; espèces qui abondaient dans les années 1960 selon notre enquête à Ngathie Naoudé. Comme presque dans l'ensemble du pays, la végétation dans la Commune de Ngathie Naoudé se compose de deux parties selon les lieux : celle des espaces cultivés et celle des espaces non cultivés. Ainsi, le PAGERNA (2003) distingue dans les parties cultivées « un parc agro-forestier dégradé et les principales espèces rencontrées sont du climat sahélien comme *Balanites aegyptiaca*, *Acacia nilotica*, *Acacia senegal*, ... et de climat soudanien comme

Cordyla pinnata, *Anogeissus leiocarpus*, *Adansonia digitata*. La densité dépasse rarement 02 arbres par ha, le sous-bois est constitué essentiellement de *Guiera senegalensis* qui est défriché régulièrement en début d'hivernage.

Le tapis herbacé est bien développé et est constitué d'espèces comme *Cenchrus biflorus*, *Zornia glochidata*, et les espaces non cultivés sont constitués de dépressions (mares, bas-fonds) de parcours de bétail, d'aires de pâturages et de tannes.

La végétation y est relativement importante surtout autour des mares qui sont inondées pendant l'hivernage.

Elle est composée d'*Anogeissus leiocarpus*, *Mytragina inermis*, *Diospyros mespiliformis*, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*.

Sur les tannes gagnés sur le bas plateau du CT, le couvert végétal est composé d'*Acacia senegal*, *Acacia radiana*, *Acacia seyal*.

Le couvert herbacé est assez diversifié et sert de pâturages pour les troupeaux.

Le couvert ligneux et herbacé est très dégradé parfois même très dénudé, surtout dans les terroirs de Darou Diaw et Daga Mignane II là, où la densité est de 02 arbres par ha.

Le zonage de l'UICN (2004) nous a encore servi de repère, dans l'analyse du couvert végétal de la RBDS, mais sur le continent, notre base est départementale. Ainsi, dans la RBDS déjà définie, il ressort de nos enquêtes appuyées par le rapport de l'UICN (1999) que toutes les forêts ont subi des stress d'ordre naturel et anthropique et d'autres même ont disparu ou menacées de disparition. Les secteurs suivants ont été définis :

- les îles Djinak y compris Léba où selon l'UICN « la flore est peu diversifiée avec des espèces représentées par *Dichrostachys cinerea*, *Tamarix senegalensis*, *Maytenus senegalensis* et la mangrove qui est assez bien conservée » ;

-les îles Bétenti y compris le Bandiala où nous avons rencontré les essences guinéennes comme *Detarium senegalensis*, *Prosopis africana*, de *Daniella oliveri* et d'*Azadirachta indica*. Et l'UICN (1999) a recensé des espèces relativement rares dont *Lophira lanceolata* dans les sites de Diogane, Sipo, Kossar et Hamdalaye ». Certaines parties de l'île aux oiseaux ont conservé leur mangrove intacte ;

- l'embouchure du Diomboss y compris Poutaké et Gouk dont les cordons sableux sont surmontés d'*Adansonia digitata*, de *Detarium senegalensis* et beaucoup d'acacias.

La mangrove borde le Diomboss sur les deux rives et l'accompagnent progressivement en se dégradant vers la pointe Jackonsa ;

- les îles du Gandoul y compris le Saloum notamment les villages de Bassoul et Bassar qui sont séparés par une forêt d'acacias, Moundé, Falia avec leurs vastes pâturages en direction de Diogane et leurs fourrés sur les amas coquillers perchés d'*Adansonia digitata*. Ce secteur a des peuplements de *Manguifera africana*, de *Detarium senegalensis*, de *Parinari macrophylla*, des *Borassus flabellifer*. La mangrove est assez bien préservée le long des bolongs séparant Thialane des autres îles surtout en direction de Diogane vers l'Ouest ;

- les passes de Fambine et Ndaar et l'île au Diable qui sont le domaine la mangrove très dégradée, à laquelle s'ajoutent quelques acacias sur les cordons de l'intérieur ;

- les îles de Mar où la végétation est composée d'espèces continentales comme *Khaya senegalensis*, *Borassus flabellifer*, *Manguifera africana*, ont leur mangrove dégradée. L'île de Mar Lodji se trouve sur un vaste cordon sableux à végétation continentale ;

- les vasières de Fimela-Palmarin et Joal y compris les zones de terroir : c'est le domaine de la mangrove dégradée et de quelques rares espèces continentales à part les reboisements d'eucalyptus, de vergers d'anacardiens et quelques rôneraies.

- la zone des tannes de Fayil-Faoye demande la reconstitution de son écosystème par des actions de reboisement et d'aménagements hydro-agricoles. Les rares cordons qui y existent, supportent mal les arbustes comme *Guiera senegalensis*. Cependant au niveau des villages, se dressent les grandes essences à affinité guinéenne telles que *Khaya senegalensis* et des vergers de manguiers ;

- l'interface estuaire-continent, de l'Est de Foundiougne à Missirah, selon l'UICN (1999), « l'une des particularités de cette zone de transition est la présence de nombreuses forêts classées. Celle de Djilor (1300 ha) est bien conservée malgré la présence de gros villages. Il se caractérise par l'existence d'importants peuplements d'*Acacia seyal* bien conservés.

La forêt de Sangako (2140 ha) se distingue par la très bonne conservation et régénération de *Khaya senegalensis*. Enfin, la forêt de Keur Sambel (200 ha) dispose d'une diversité floristique importante ;

- la forêt de Fathala renferme de nombreuses espèces forestières guinéennes, mais celles-ci ont une régénération naturelle très faible. La mangrove est saine dans le domaine interne et beaucoup de cordons à amas coquillers sont surmontés d'espèces continentales comme *Adansonia digitata*.

Sur le territoire du Bassin arachidier, les espaces classés et protégés ainsi que les aires protégées se disputent le terroir sur une vaste savane arbustive. Les principales forêts classées se rencontrent dans les départements de Fatick, Foundiougne, Gossas, Kaffrine, et Kaolack.

Des relevés de végétation ont été faits dans dix forêts parmi les 24 classées que compte le bassin versant du Sine/Saloum. Elles sont réparties comme suit :

- département de Fatick une forêt sur deux ;
- département de Kaolack deux sur trois ;
- département de Kaffrine deux sur six ;
- département de Foundiougne cinq sur onze ; mais les forêts de Patako sud, de Patako Est et de Baria un peu éloignées du Bassin versant, n'ont pas été visitées (carte 51 et tabl 126).

Presque toutes les forêts ont été classées dans les années 1930 par le pouvoir colonial à l'exception de Mbégué et du Niombato. Et ce classement a été reconduit par les autorités après les indépendances.

Carte 52: formations végétales dans le bassin versant du Saloum

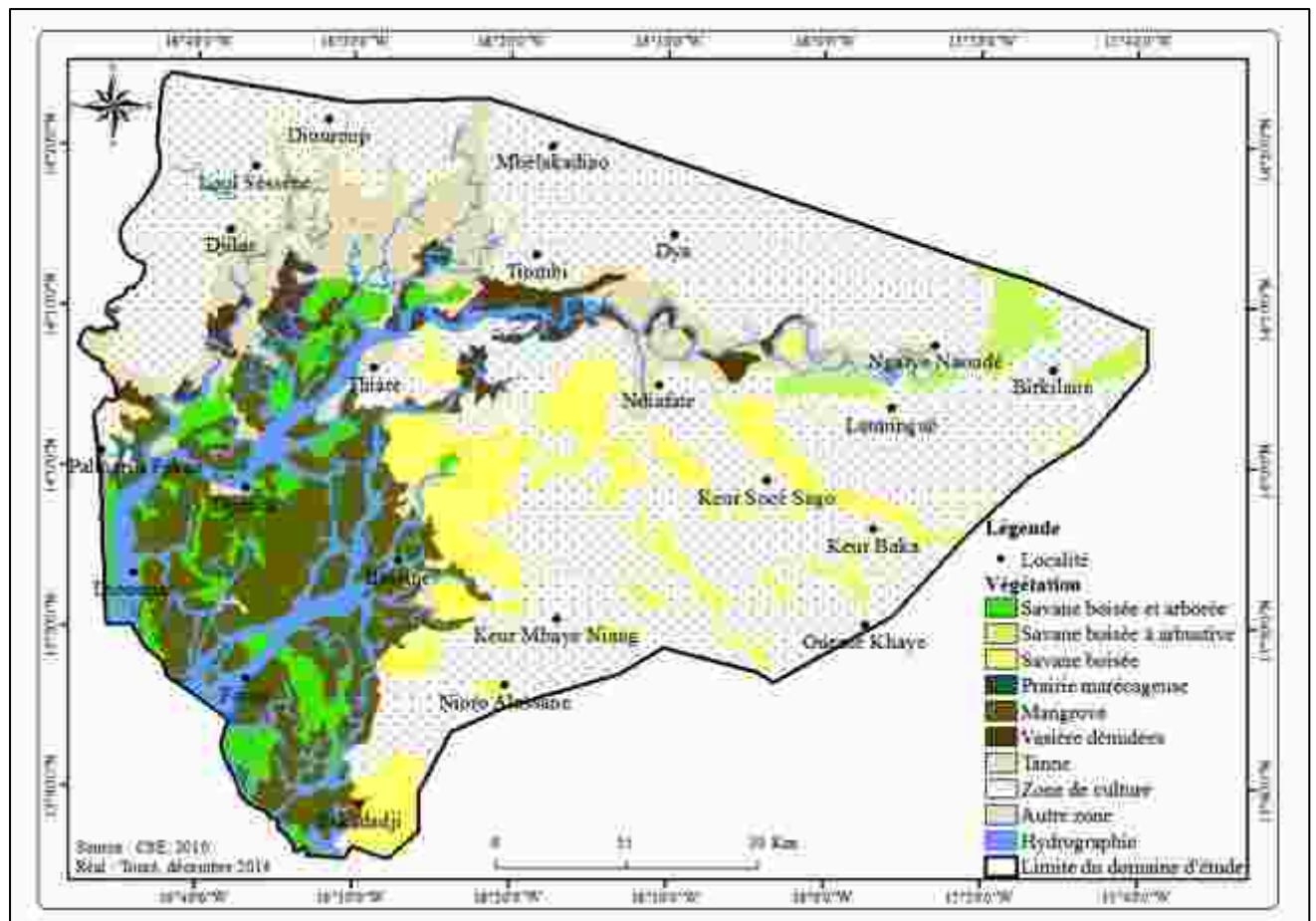


Tableau 117: Les Forêts Classées du département de Foundiougne

Forêts classées	Arrêté de classement	Superficie (ha)	Type de formations
Sangako	1601 du 10/05/1934	2140	Forêt sèche
Patako Est	243 du 08/02/1934	1600	Forêt sèche

Patako Sud	248 du 08/05/1933	3980	Forêt sèche
Baria	1052 du 08/05/1937	7200	Savane arborée
Vélor	572 du 03/03/1937	6800	Savane arborée
Fayako	1688 du 22/05/1936	11800	Savane arborée
Sokone	1124 du 22/05/1936	280	Savane arborée
Djilor	1830 du 30/08/1936	900	Savane arborée
Iles de Bétenti	238 du 22/01/1946	200	Mangrove
Iles du Saloum	97 du 07/01/1946	30000	Savane arborée
Keur Sambel	7012 du 18/12/1950	20000	Savane arborée
Total	84 900ha		

Des relevés de végétation ont été faits dans certaines forêts du bassin versant de l'estuaire du Saloum. Ces relevés sont consignés dans le tableau suivant N° 129

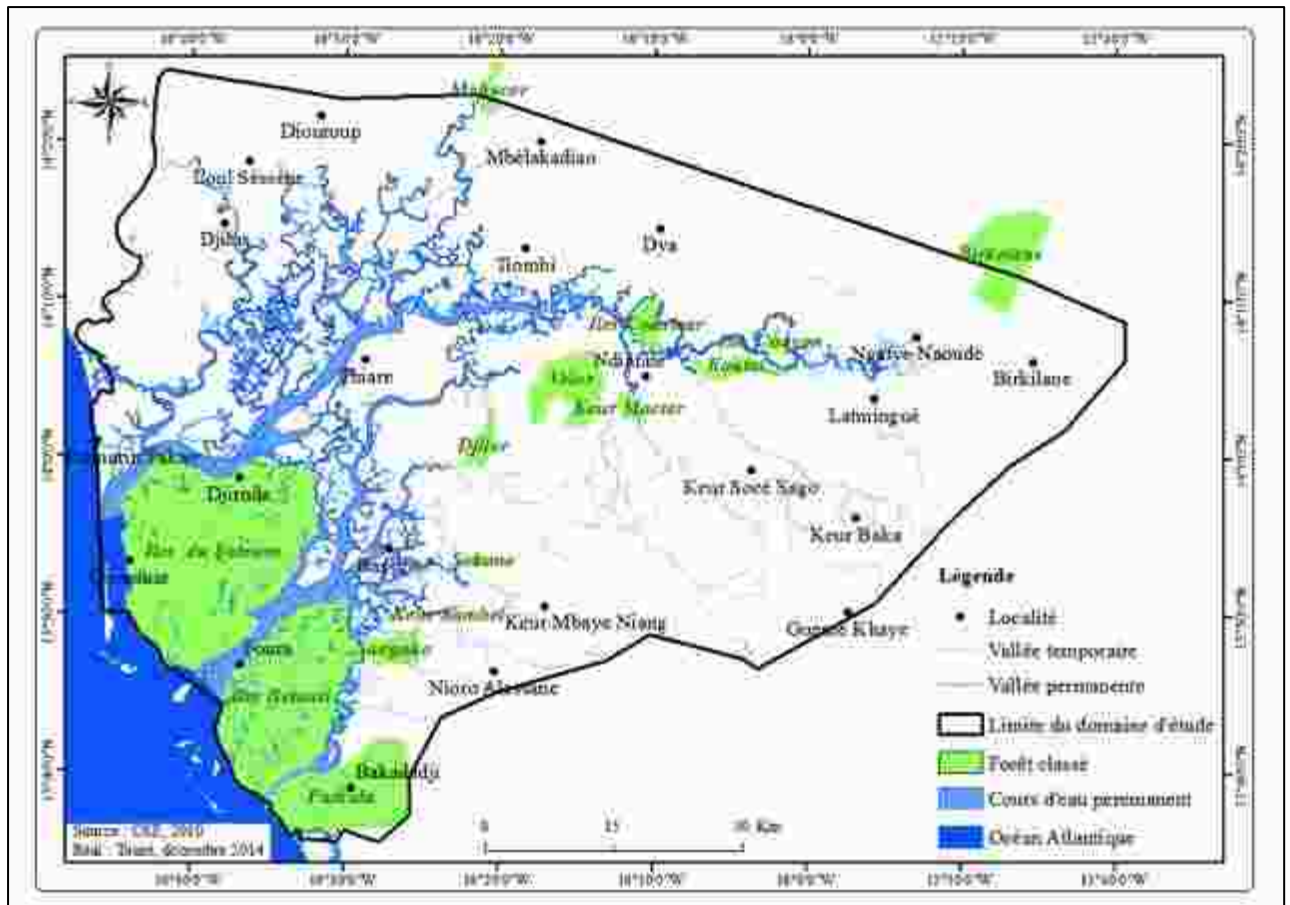
Tableau 118: Nombre de placettes par forêts.

Noms	Statut	Superf en ha	Fréquences	Fréquences (%)	1/3 du pourcentage	Sup en ha	nombre de placettes
Koutal	Forêt classée	1523	0,2052372	20,5237205	6,84124015	2	8
Samba Dia	Réserve de Bios	744	0,25896956	25,8969563	8,63231877	1	4
Sangako	Forêt classée	2101	0,05203197	5,20319674	1,73439891	2	8
Sokone	Forêt classée	306	0,35725217	35,7252168	11,9084056	1	4
Djilor	Forêt classée	1207	1	100		1	4
Sup totale	5881		0,2052372	20,5237205	6,84124015		28

NB : ce sont des placettes de 2500 m²

Ces relevés nous ont permis de voir les espèces dominantes durant les années 2010 dans les différentes forêts classées. La carte 52 montre l'emplacement de ces forêts classées dans le bassin versant du Saloum et dans les régions de bordures.

Carte 53 : Forêts classées de l'espace d'étude



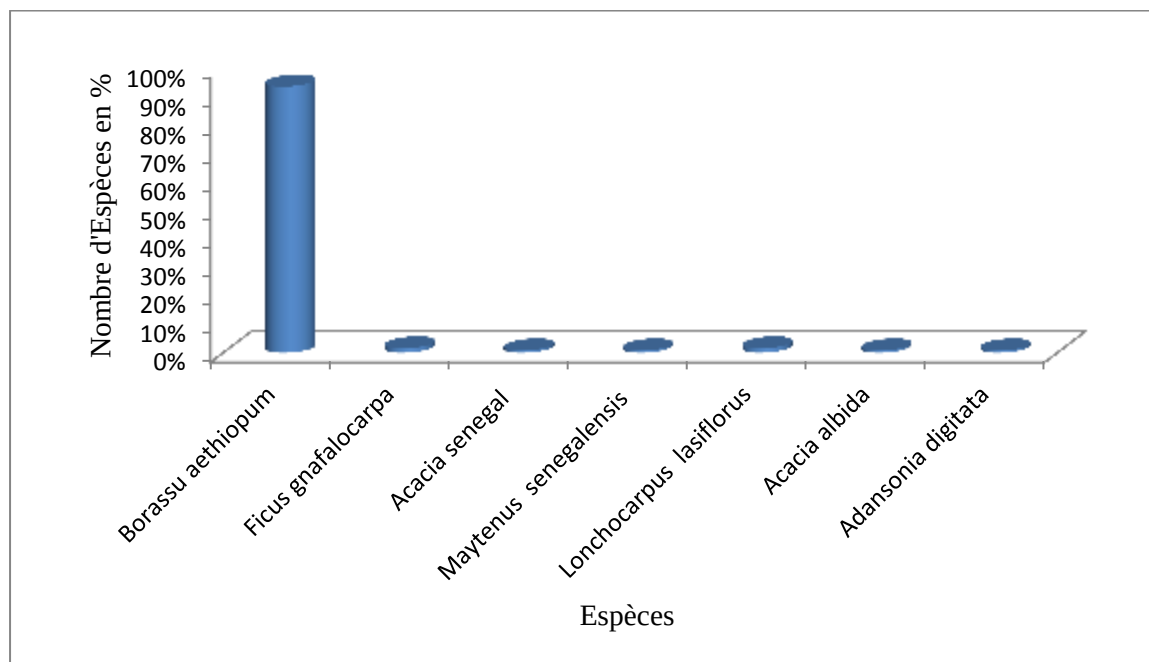
Sur 12 forêts étudiées, 5 ont retenu notre attention : Samba Dia, Sokone, Sangako Djilor et Koutal.

***Samba Dia :**

La forêt classée de Samba Dia partie intégrante de Fimela, est protégée depuis le 1er Janvier 1936 et a le statut de Réserve de Biosphère depuis 1979.

Mais c'est surtout une rôneraie (*Borassus aethiopium*), associée d'autres espèces, dont *Acacia seyal*, *Combretum glutinosum* et *Anogeissus leiocarpus*.

Dans l'état actuel, il ne reste que les rôniers ayant un fort taux de mortalité. Le graphique 67 souligne leur prédominance avec plus de 94 % des effectifs dans les relevés.



Graphique 36: espèces dominantes dans la FC de Samba Dia

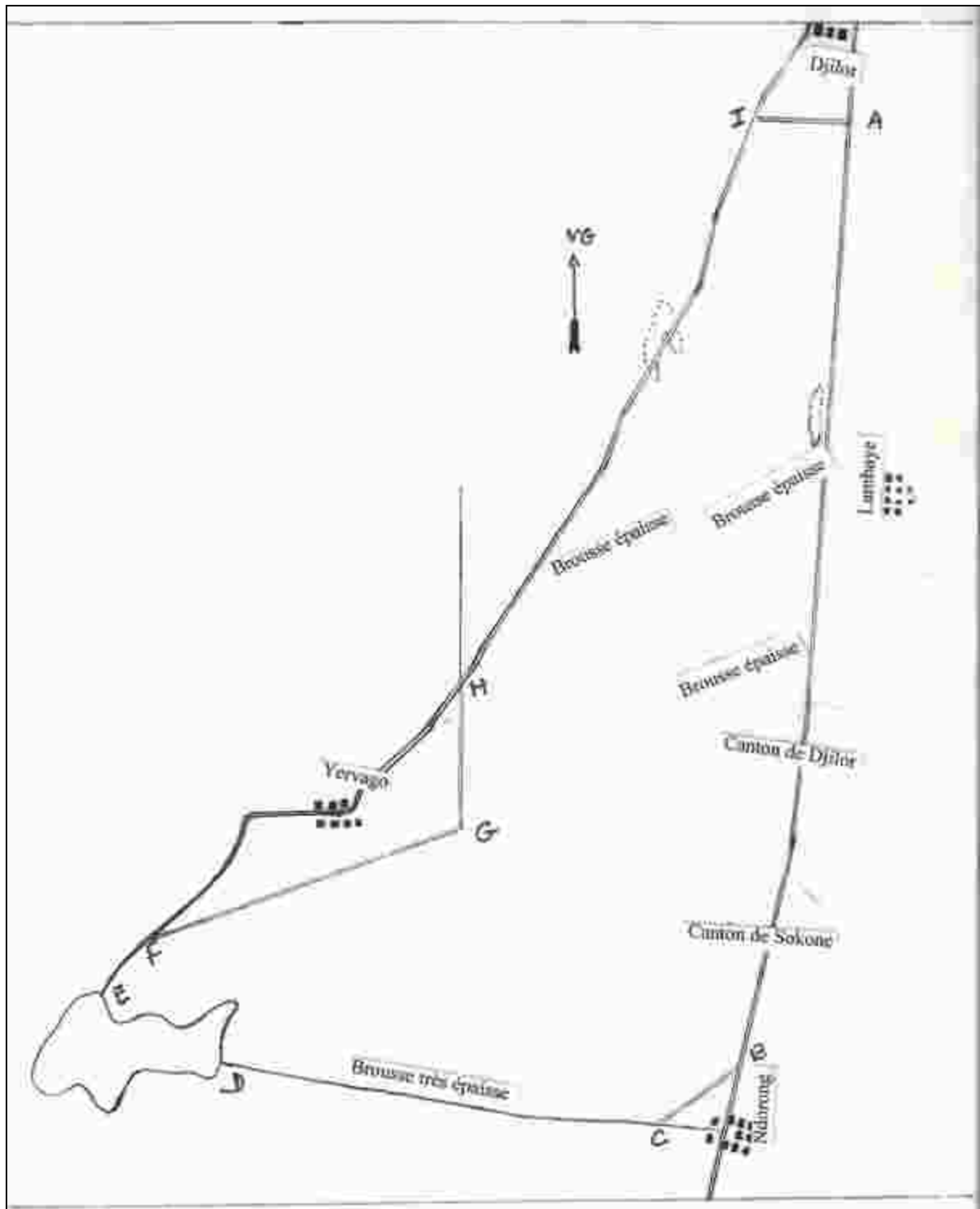


Figure 45: forêt classée de Djilor :

Dans la situation actuelle, les espèces retrouvées sont à dominantes *Adansonia digitata*, *Bauhinia rufescens*, *Grewia bicolor*, *Tamarindus indica*, *Sclerocarya birrea*, *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Lannea acida*, *Mitragyna inermis*

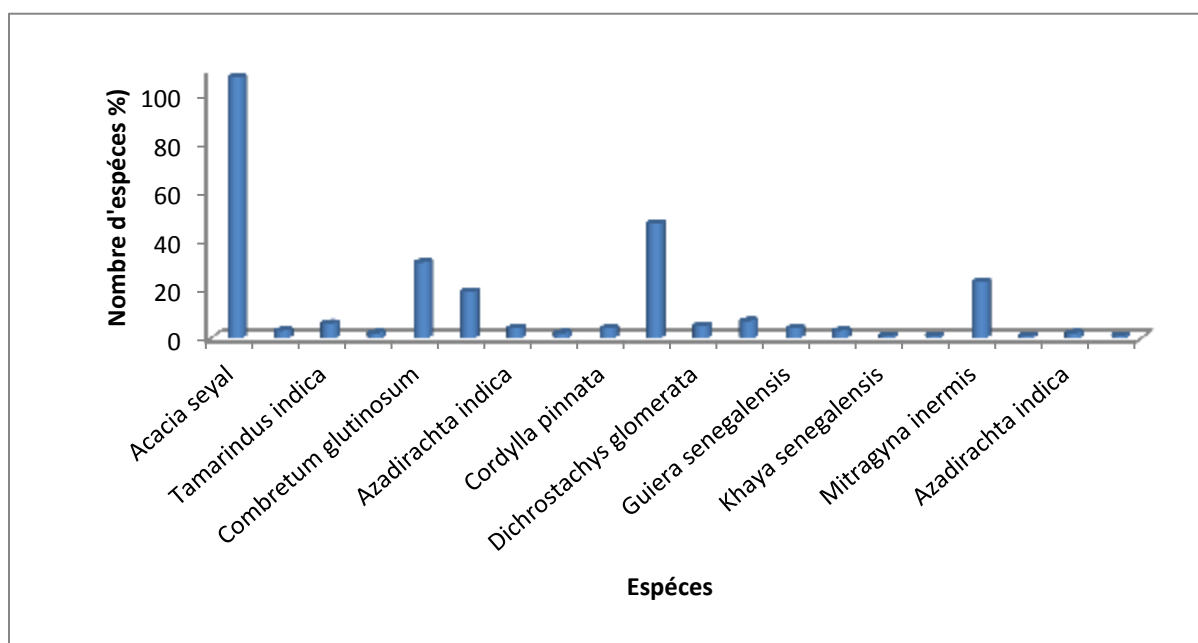
Azadirachta indica, *Cordyla pinnata*, *Dialium guineensis*, *Acacia sieberiana*, *Sterculia setigera*, *Acacia ataxacantha*, *Combretum glutinosum* et *Zizyphus mauritania*.

Le Ven (*Pterocarpus erinaceus* n'existe plus, de, même que le coulo-coulo (*Afromosia casciflora*), ainsi que les rizières. Les limites naturelles ou originelles sont réduites et tous les villages limitrophes sont maintenant éloignés de la forêt.

Photo 27: dégradation anthropique de la FC de Djilor



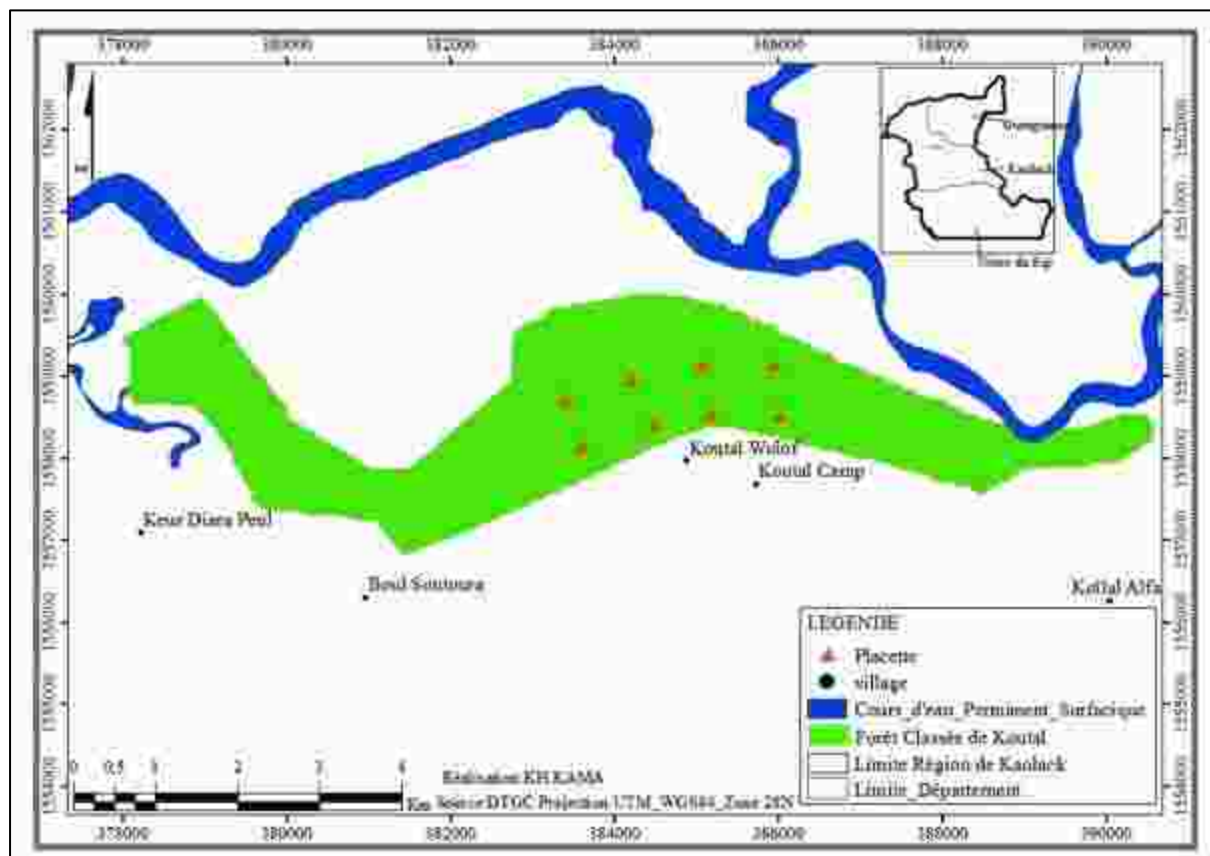
Cliché Faye G (2013)

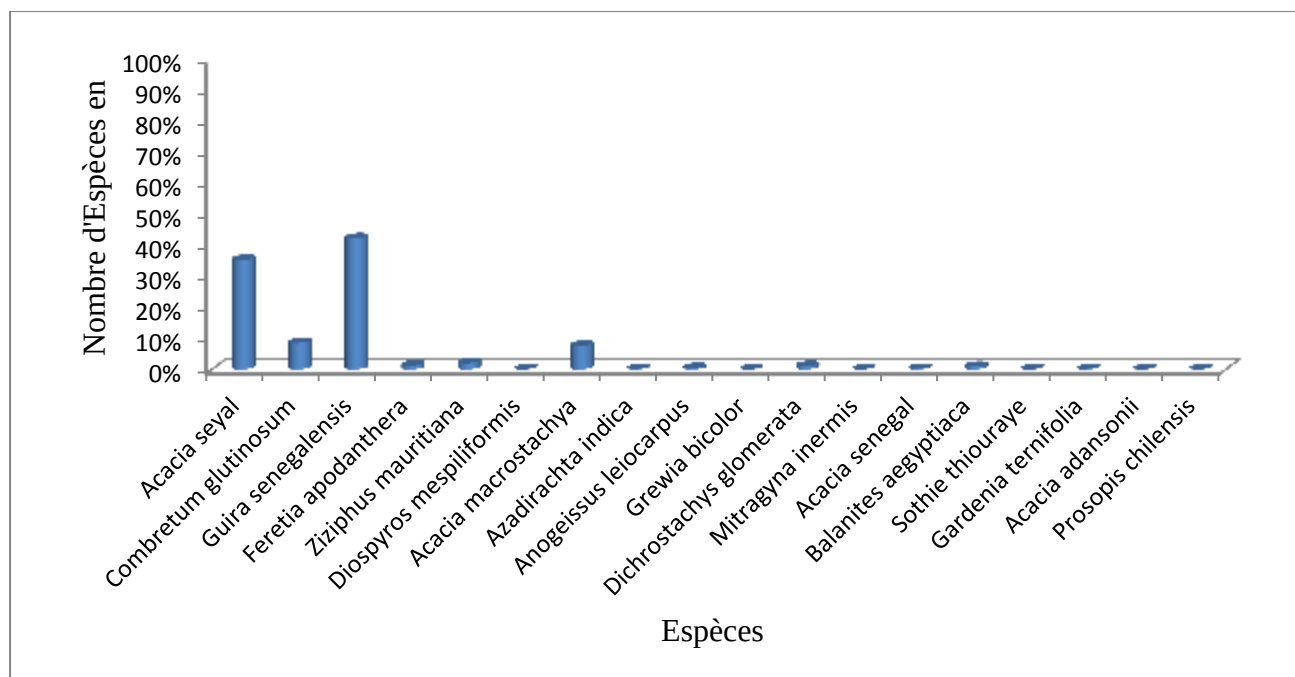


km derrière le village sérère, tout est occupé par les champs. Du marigot de Mbill jusqu'à Koutal oulof, l'espace est recouvert de tannes nus. Au long de la route Kaolack-Passy, les tannes nus longent le bolong jusqu'à l'Ouest de Touba-Sanokho. Enfin, le triangle Kaolack-Latmingué – Koutal sérère est un espace agro-pastoral.

Dans cet espace, où 8 relevés ont été effectués, dominent les espèces suivantes *Acacia seyal*, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Acacia macrostachya*.

Carte 54: position des placettes dans la Forêt Classée de Koutal





Graphique 70: espèces dominantes dans la FC de Koutal

Photo 28: échantillon de la forêt classée de Koutal



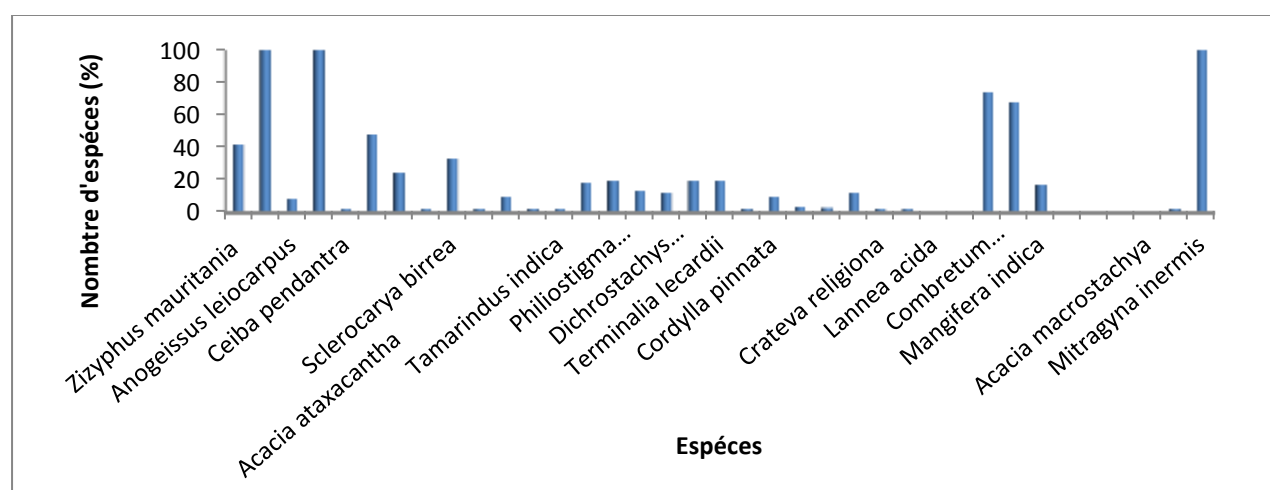
Cliché Faye G (2010)

Selon le texte du classement, « cette réserve est située entre Sangako et Toubacouta, pas de rizière ici. Elle a été laissée en particulier au petit village de pêcheurs de Soukouta, qui pourrait paraître à l'endroit entre le « tanne » et la limite ouest, plus du double de la surface actuellement cultivée par ses habitants.

Les principales essences rencontrées sont : le caïlcédrat, le santan, le Nété, le dimb, le seindiégne. Une exploitation méthodique pourrait être envisagée dans quelques années, en raison de la proximité de voies d'évacuation navigables ».

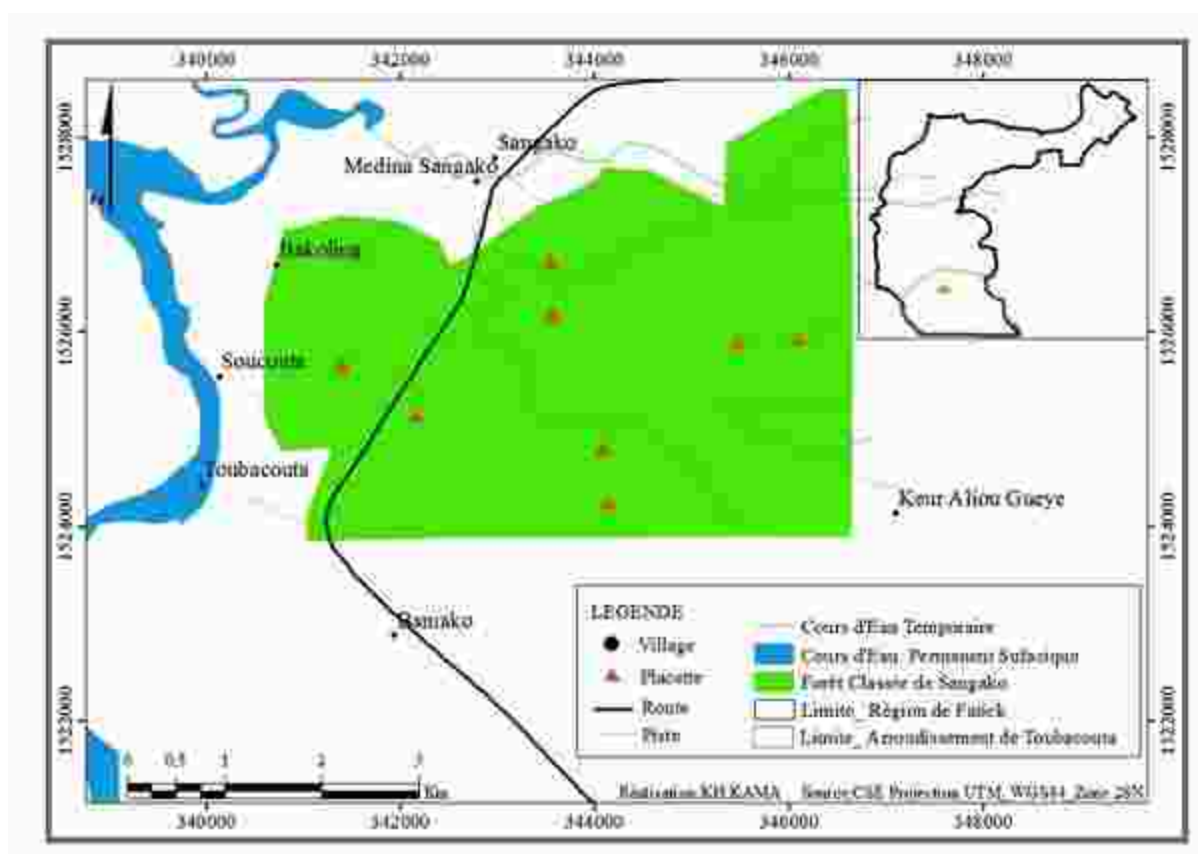
Parmi les forêts visitées, elle est la plus dense et regorge plusieurs espèces comme : *Celtis integrifolia*, *Pterocarpus erinaceus*, *Guiera senegalensis*, *Terminalia macroptera*, *Zizyphus mauritania*, *Ficus vogelli*, *Azadirachta indica*, *Anogeissus leiocarpus*, *Terminalia macroptera*, *Philiostigma reticulatum*, *Khaya senegalensis*, *Sclerocarya birrea*, *Dichrostachys glomerata*, *Acacia seyal*, *Combretum glutinosum*, *Acacia ataxacantha*, *Cordyla pinnata*, *Anacardium occidentale*, *Tamarindus indica*, *Detarium senegalensis* et *Parkia biglobosa*. Mais le marigot Bamboulane n'est plus fonctionnel. Le caïlcédrat, le santan n'existent plus, de même que *Albizzia chevalieri*, *Cordyla pinnata*, " seindiégne."

Selon le MEPN-DPN(1999), dans la forêt de Sangako, « 81 espèces ligneuses ont été recensées dans cette forêt classée et appartiennent à 30 familles. Le nombre d'arbres morts et de souches à l'hectare est relativement élevé et varie de 20 à 83 ».



Graphique 71 : espèces dominantes dans la Forêt Classée de Sangako

Carte 55: position des placettes dans la Forêt Classée de Sangako



Dans l'état actuel des choses, la culture des rizières n'existe plus, de même que le Ntaba (*Cola Cordifolia*). Les villages limitrophes sont éloignés de la forêt sauf Mbouloume dont quelques lambeaux se dressent à l'Est.

5 espèces recensées par le service des eaux et forêts ont complètement disparu. D'après le commandant Sané de la brigade des eaux et forêts, il s'agit de *Ficus dicranostyla*, de *Nauclea latifaro*, de *Parkia biglobosa* et d'*Acacia seyal*.

A la place d'un taillis touffus, se trouve une forêt clairsemée où dominent les espèces suivantes: *Combretum glutinosum*, *Sterculia setigera*, *Newbouldia laevis*, *Anogeissus leiocarpus*, *Adansonia digitata*, *Azadirachta indica*, *Cordyla pinnata*, *Cassia sieberiana*, *Zizyphus mauritania*, *Ceiba pendata*, *Dioscorea prehensilis*, *Sclerocarya birrea*, *Parkia biglobosa*, *Khaya senegalensis*, *Diospyros mespiliformis*, *Acacia adansonii*, *Tamarindus indica*.

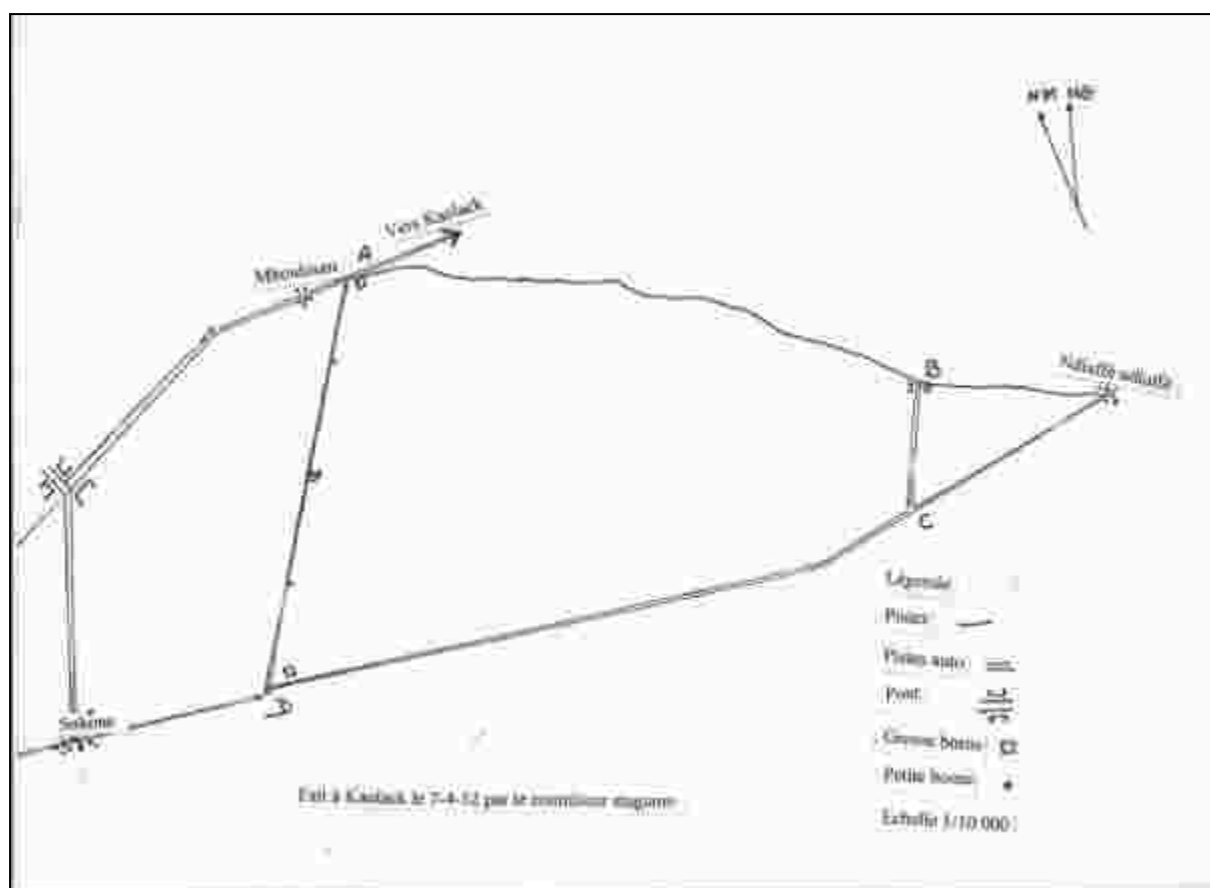
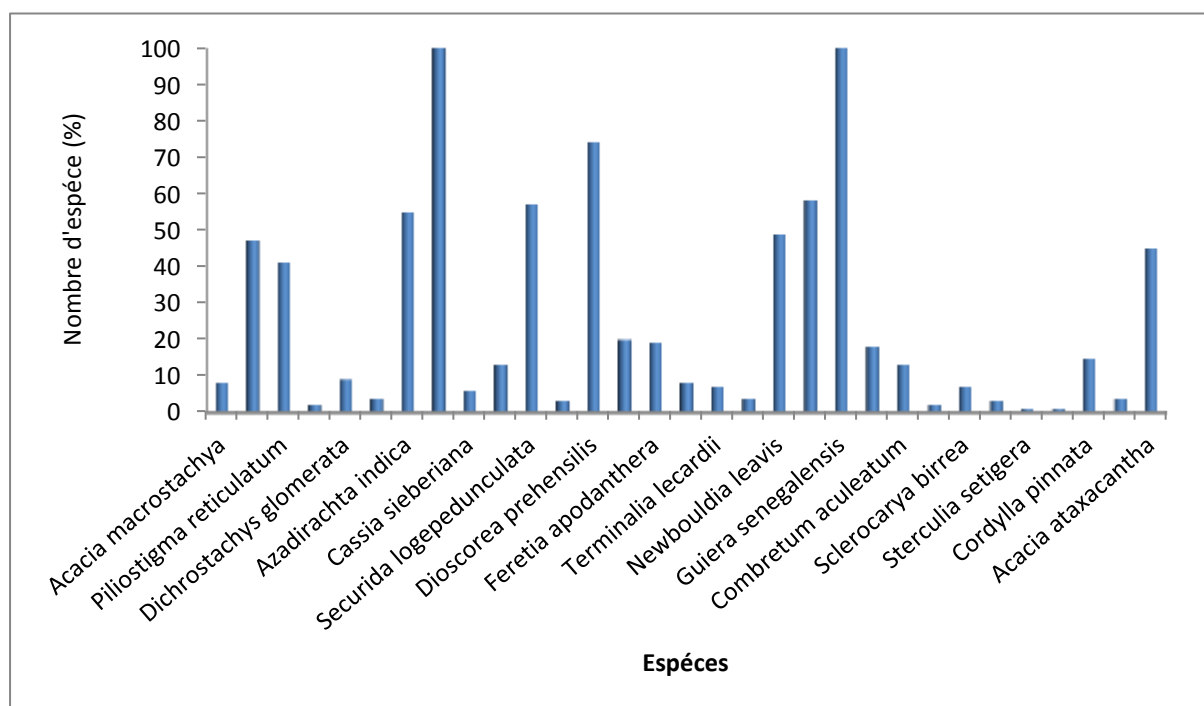
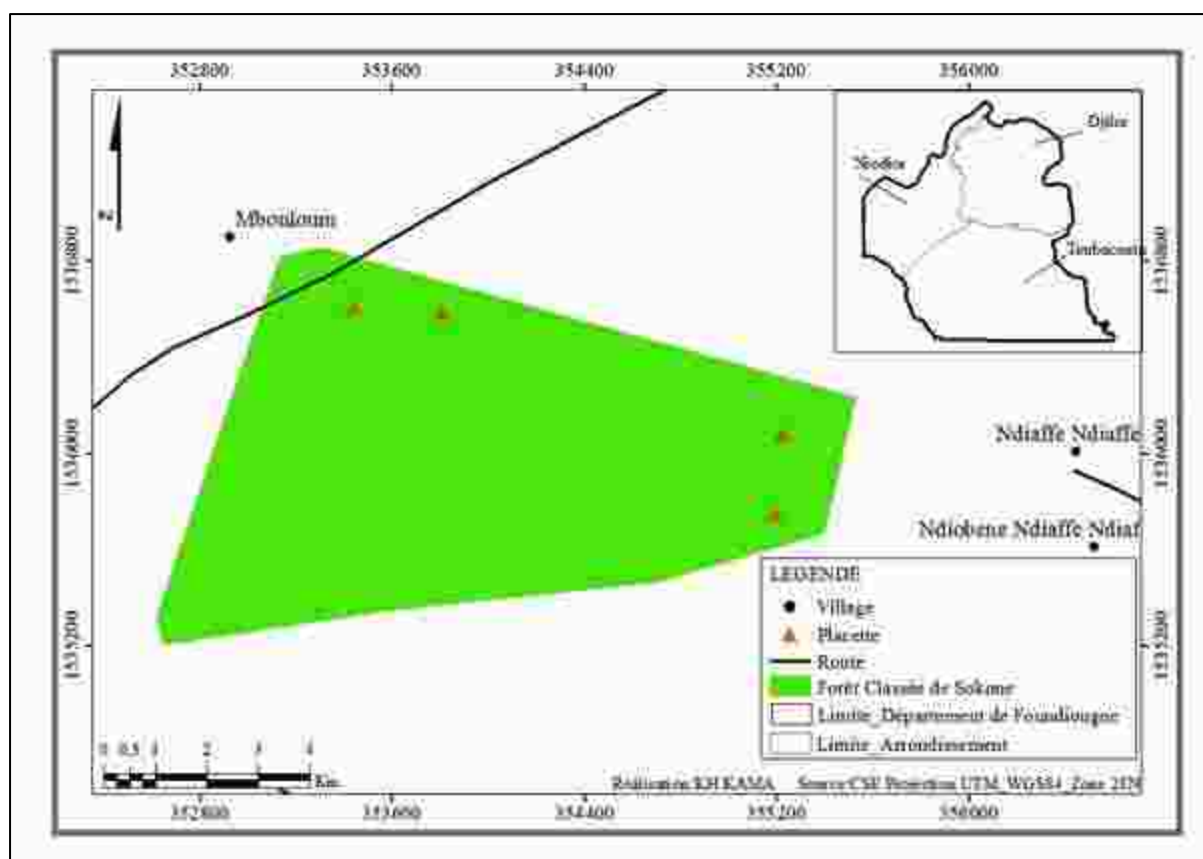


Figure 47: forêt classée de Sokone

Carte 56: position des placettes dans la Forêt Classée de Sokone



Graphique 72: espèces dominantes dans la Forêt Classée de Sokone

En définitive, le changement climatique a affecté tout l'environnement estuarien et ses régions de bordures. Concernant le cas typique du Sénégal, on note une réduction du volume d'eau précipité avant 1970 et après 1970 de 176 milliards de m³ à 132 milliards d'apports pluviométriques. A cela, s'ajoutent une baisse des écoulements et un abaissement des nappes souterraines.

Dans le cas du Saloum, les régions regorgent d'importantes nappes souterraines, mais affectées par la salinité. Les paysans expliquent cette situation par la sécheresse induite par le changement climatique. Dans le domaine insulaire et le long du Sine, l'accroissement de la superficie des tannes vifs, souvent lié au recul de la mangrove, ou aux dépens du bas plateau du CT, les efflorescences salines de surface, handicapent le développement du couvert végétal.

Dans l'optique des paysans, à Fatick 86 % comme à Foundiougne 91,7 %, des fréquences de réponses révèlent que les terres agricoles sont insuffisantes à cause de la salinisation.

Les contraintes relatives aux terres agricoles sont : le manque d'eau, la salinité, le faible niveau de fertilisation, l'accès difficile au foncier et la présence du Striga mais, surtout l'extension des tannes.

Le responsable de l'exploitation du sel à Ndiémou (Département de Fatick), a confirmé ce phénomène en disant « le tanne a dégradé les terres du Sine et celles du Log ». Les paysans versent le lot de ces fléaux au dos du changement climatique dont les retombées négatives se sentent au niveau de la végétation.

L'ensemble du pays comporte 3 zones de végétation ; la zone sahélienne, la zone soudanienne et la zone guinéenne. Le bassin du Saloum appartient à la zone soudanienne. Ce bassin comporte des forêts classées, des forêts et des aires protégées ; dans le bassin versant du Saloum, les espèces les plus exploitées concernent *Parkia biglobosa*, *Detarium senegalensis*, *Adansonia digitata*, *Neocarya macrophylla*, *Zizyphus mauritania*, *Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica*, *Anacardium occidentale*. Ainsi « la flore (plantes à fleurs) est constituée par 2 500 espèces environ réparties en trois grandes zones floristiques.

D'après les paysans, les changements globaux ont laissé leurs marques sur les paysages même humides. Ces empreintes sont visibles sous toutes les latitudes et se reconnaissent par :

- la rareté de beaucoup d'espèces d'arbres ;
- la réduction progressive de la mangrove ;
- l'extension des tannes aux dépens de la végétation sur le bas plateau du CT.

Dans ce contexte, s'imposent stratégies pour inverser la tendance actuelle dans le cadre d'un aménagement intégré des unités morphologiques insulaires et des régions de bordures.

Chapitre 8 : l'aménagement intégré des unités morphologiques et les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.

8 .1. L'aménagement intégré des unités morphologiques

8 .1.1. Les vasières à mangrove

8 .1.2. Les tannes

8 .1.2.1. L'aménagement des terres salées.

8 .1.2.2. La maîtrise des eaux de surface

8 .1.2.3. Le dessalement

8 .1.2.4. L'amélioration de la fertilité

8 .1.2.5. Les mesures de récupération des terres salées par reboisement.

8. 1.3. Les vallées fossiles

8 .2. Les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.

8 .2.1. La lutte contre l'érosion

8. 2. 2. La lutte contre la salinisation

8. 2. 3. La lutte contre la dégradation des Forêts Classées

8.2.3.1. Les stratégies de lutte développées.

8.2.3.2. La régulation à l'accès des ressources ligneuses.

8.2.3.3. Les actions de lutte contre la pression anthropique.

Conclusion partielle.

Introduction

La connaissance de la dynamique, qui renvoie au mouvement en général, est une condition nécessaire pour l'aménagement des unités morphologiques. Mais, en morphodynamique littorale, les environnements côtiers sont souvent traités comme des milieux naturels où les activités anthropiques perturbent leur équilibre. L'aménagement du territoire vise le développement. Le développement est « l'ensemble des transformations économiques, technologiques, spatiales, sociales, institutionnelles et politiques qui se produisent sous l'effet des forces de production dans une région donnée et au sein d'une société ou d'une collectivité déterminée, et qui sont susceptibles de répondre aux besoins de celle-ci et de permettre aux individus qui la composent d'atteindre un état d'équilibre et d'épanouissement optimal » (Maldague, 1978). Levy et al (2003) définissent l'aménagement comme l'ensemble des savoirs et des savoir-faire, dont la construction et l'application servent à transmettre et à adapter volontairement des espaces d'échelles et de types variés au bénéfice des sociétés qui les produisent et les occupent. L'aménagement du territoire se fait dans le cadre de la planification. En somme, « la planification est le cadre régional de construction économique et l'aménagement est le processus de construction de ce cadre ».

Après l'analyse diachronique de quelques unités, nous avons obtenu des cartes qui définissent la cinématique des unités et celle de l'espace insulaire.

Ces cinématiques observées sur un ensemble d'unités contiguës, peuvent faire l'objet d'une typologie et leurs types sont appelés dynamiques. C'est à partir de ces dynamiques que nous tentons l'aménagement intégré de certaines unités, tout en soulignant les contraintes inhérentes à cette opération. Sont examinés tour à tour, les types d'aménagement des vasières à mangrove, des tannes et des vallées fossiles, de même que les stratégies de lutte contre l'érosion, la salinisation des terres de cultures et la dégradation des forêts classées.

A défaut de faire une étude exhaustive de tous les taxons morphologiques, nous choisissons les plus sensibles à la dégradation et dont l'aménagement intégré peut porter profit à l'homme. En vertu de cela, sont analysés l'aménagement intégré des unités morphologiques (vasières à mangrove, tannes et vallées fossiles).

Dans le cas général de cet aménagement, les méthodes utilisées par les populations concernent les épandages de matière organique, de fumier, de la paille, des résidus de culture, de la coque d'arachide, auxquels s'ajoutent, le parcage du bétail et la plantation d'arbres forestiers tels qu'*Eucalyptus camaldulensis*, *Euphorbia basalmiféra*, *Jatropha curcas*.

Les objectifs visés par les paysans sont :

- améliorer la structure des sols dénaturés par le sel, par apport de matière organique,
- protéger le sol contre l'érosion par la régénération naturelle et artificielle.

Ainsi selon Sarr A, (1994), « l'espèce *Eucalyptus* est souvent plantée au niveau des tannes sous forme de peuplement pur, en bois villageois ou en bois familial. *Euphorbia basalmifera* et *Jatropha curcas* sont surtout utilisés en haies vives ».

8 .1. L'aménagement intégré des unités morphologiques.

La vase est un sédiment fin formé de pré colloïdes et de colloïdes et où la fraction sableuse est réduite. D'après leur milieu de formation, se distinguent des vases lacustres, estuariennes, marines. La vasière basse est celle qui est régulièrement inondée par la marée comme c'est le cas dans le Saloum. L'inondation des vasières hautes peut provoquer des faciès de dessalement, ce qui entraîne la recolonisation des espaces par une végétation non strictement halophyte appelée schorre à herbacées (subhalophyle de Guilcher A.1988). C'est un faciès de marée tropicale où le substrat se compose avant tout de sables fins (Paskoff, 1988).

Les vases sont mises en place durant l'épisode lagunaire du post-nouakchottien.

Leurs sols sont de type halomorphe à sulfaté acide.

Les vasières à mangrove sont des milieux complexes et fragiles. Leur aménagement nécessite une connaissance parfaite et une maîtrise du milieu. D'autant plus que l'aménagement des mangroves fait face à un certain nombre de contraintes. Par exemple l'aptitude des sols de mangrove à l'aménagement pour une utilisation agricole dépend en grande partie d'un certain nombre de contraintes liées aux conditions locales du climat, de l'hydrologie et des caractères physiques et chimiques des sols (Marius, 1985).

8 .1.1. Les vasières à mangrove

L'aménagement des sols de mangrove a pour inconvénients la lenteur du dessalement et le risque de resalinisation au cours des années sèches.

En effet, les sols de mangrove ne sont pas utilisables juste après l'aménagement. Selon Marius (1985), « lorsque la rizière est entièrement aménagée, elle n'est pas immédiatement cultivable, pendant plusieurs hivernages consécutifs, il faut procéder au dessalement du sol ».

Plusieurs de ces types d'aménagements se soldent par des échecs tant économiques, qu'écologiques et sociaux. Les rendements sont faibles, les ouvrages : digues, drains, canaux et barrages ne sont pas réappropriés par les paysans car ils sont inadaptés aux caractéristiques locales des sols.

De surcroît, la modification des écoulements naturels perturbe durablement le fonctionnement des écosystèmes et des vastes étendues de mangroves défrichées et converties en terre ferme sont abandonnées ; elles se transforment en tannes (Cormier-Salem, 2000).

Pour assurer l'équilibre de cet écosystème, les projets d'aménagement des mangroves doivent concilier les intérêts de la production et l'intégrité de l'écosystème.

Ces projets nécessitent donc des études sur le milieu physique ainsi que des études socio-économiques sur la base desquelles serait planifiée l'utilisation de ces milieux. Pour cela, il

est nécessaire d'intensifier la recherche interdisciplinaire qui seul permet d'établir des projets viables de développement intégrant la foresterie, la pêche et les activités agricoles (Marius, 1985).

Cependant la pérennité de la mangrove doit être l'objectif prioritaire de cet aménagement qui doit rechercher un équilibre dynamique et harmonieux entre les potentialités naturelles, la production réelle et la demande sociale. Cet aménagement doit alors viser les objectifs de la stratégie mondiale de la conservation à savoir :

- le maintien des processus écologiques essentiels et des systèmes entretenant la vie ;
- la préservation de la diversité génétique ;
- l'utilisation durable des écosystèmes.

Il semble opportun d'intensifier les recherches sur le fonctionnement des vasières à mangrove et les résultats vont permettre de prévenir les impacts dans le court et le long termes. L'aménagement des vasières à mangrove nécessite une approche globale et environnementale. Les caractéristiques régionales et locales doivent être aussi prises en compte dans l'aménagement, car les facteurs déterminants de l'évolution des mangroves peuvent varier d'un milieu à l'autre.

Selon Vieillefon (1977), trois facteurs principaux doivent être considérés dans l'établissement d'un projet d'aménagement des sols de mangrove en dehors des facteurs économiques :

- l'alimentation en eau pour lutter contre la salinité ;
- lutter contre l'acidification ;
- les défrichements nécessaires dans certains cas.

L'accent doit être mis dans tous les facteurs qui régissent cet écosystème, un seul facteur négligé peut entraîner des dommages pour l'aménagement.

Par ailleurs, le milieu doit enfin être conservé pour des raisons de biodiversité. Dans le cadre de conservation de cette biodiversité, le Plan d'Action Forestier du Sénégal met en exergue la nécessité d'un aménagement des mangroves comme une des actions prioritaires dans les programmes de développement régionaux et que des acteurs et des spécialistes dans le Rapport final (2004), *Les Mangroves du Sénégal : Situation actuelle des ressources, leur exploitation et leur conservation*, ont « formulé des propositions et recommandations qui tiennent compte des problèmes et contraintes soulignés mais aussi des enjeux multiples liés à la mangrove.

Il s'agit de propositions jugées pertinentes et opérationnelles à court, moyen et long termes.

A court terme, il s'agira :

- d'encourager et d'appuyer les dynamiques communautaires participatives et concertées pour une gestion durable des ressources des mangroves ;
- d'informer et de sensibiliser tous les acteurs sur la nécessité de mettre en place un cadre de concertation national pour réfléchir, échanger sur le devenir de la mangrove, sur les menaces qui pèsent sur cet écosystème fragile et utile à tous points de vue et sur la nécessité d'harmoniser les multiples textes législatifs et réglementaires qui la régissent.

A moyen terme, il s'agira :

- d'assurer le suivi dynamique et régulier de tous les sites de mangroves au Sénégal et de l'état des ressources ;
- d'appuyer l'introduction et la vulgarisation des nouvelles techniques et technologies d'exploitation des ressources de la mangrove, d'économie d'énergie dans les zones de mangroves ;
- d'élaborer de façon participative et concertée un plan stratégique intégré et durable des écosystèmes de mangroves au Sénégal compte tenu des problèmes et contraintes existants, des enjeux multiples liés à la mangrove et de toutes les expériences en cours.

A long terme, il s'agira :

- d'amener les autorités à définir un cadre juridique propre à la mangrove ou une charte nationale. Au préalable du plaidoyer, tous les acteurs doivent être suffisamment informés et sensibilisés pour une adhésion effective et pleine à l'initiative ;
- mettre en œuvre le plan stratégique intégré et durable des écosystèmes de mangrove qui pourrait intégrer les aspects suivants :
 - le suivi dynamique et réguler des écosystèmes de mangrove et mise en place de bases de données ;
 - la vulgarisation du nouveau cadre juridique ou à défaut d'une charte nationale (arrêté du Ministre de tutelle) ;
 - le renforcement des capacités techniques et matérielles de tous les acteurs ;
 - l'appui des dynamiques communautaires participatives et concertées de protection et de restauration des mangroves ;
 - l'appui des solutions alternatives de préservation de la mangrove ;
 - l'appui introduction et vulgarisation de nouvelles techniques et technologies d'exploitation des ressources ;
 - le rôle de sentinelle et d'alerte pour le respect du cadre juridique ou de la charte nationale surtout en ce qui concerne les aspects : repos biologique, normalisation des engins de pêche, coupe incontrôlée des arbres ».

Mais, pour le moment, sur le plan de la conservation, des actions de reboisement sont menées par les populations.

Dans beaucoup de villages et îles, les programmes ont réussi. C'est le cas des campagnes de reboisements dans le village de Néma bah et dans la vallée de Diofior, Simal et Roh (DIOSIRO), illustré par la photo N° 29 et les tableaux 128, 129, 130.

Photo 29: reboisement de mangrove à Néma bah/GIE Dioubo (2007)



Cliché Faye G (2008)

Tableau 119: Reboisement de la mangrove dans la vallée Diofior Simal Roh (DIOSIRO) de 1997 à 2001

Années	<i>Rhizophora en ha</i>		<i>Avicennia en ha</i>		Total
	Simal	Roh	Simal	Roh	
1997	20 000	-	325	-	20 325
1998	23 750	-	-	350	24 100
1999	44 897	-	1 800	-	46 697
2000	72 762	-	2 500	3 306	78 568
2001	62 500	-	-	-	62 500
Total	223 909	-	4 625	3 656	232 190

FIOD, 2001 in Ndong A (2005)

Les activités de reboisement sont relativement importantes pour les plantations de palétuviers dans les villages de Simal, Diakhanor, Mar Fafaco et le hameau de Wandié.

Selon l'UICN en septembre 2004 « au plan technique de reboisement les populations de Mar Fafaco sont en passe de devenir les maîtres des techniques de reboisement de *Rhizophora* sur l'île de Mar ». Cette ancienneté a permis de donner des résultats satisfaisants dans le cadre du projet, étude pour une gestion durable » de la mangrove de la Petite côte et du Delta du Saloum ».

Tableau 120: Tableau récapitulatif du reboisement de la FIOD dans la vallée de DIOSIRO de 1997 à 2001.

Années	Reboisement continental (ha)	Reboisement mangrove (ha)	Total (ha)	Taux de réussite moyen en %	
				Continental	Mangrove
1997	38	23,5	61,5	88,71	66
1998	45,5	38	83,5	71,65	75
1999	45,23	37,36	82,59	69,26	94
2000	28	65,49	93,49	77,16	70,69
2001	32	50	82	Néant	Néant
Total	188,73	214,35	403,08	76,69	76,42

FIOD, (2001)

D'autres travaux de reboisement de mangrove ont été entrepris depuis 1998 et ont porté sur les localités indiquées dans le tableau 130

Tableau 121: programme de reforestation année 2000

Villages	Superficie reboisée en Ha
CAREM (Fimela, Djilor, Simal)	25
Palmarin Ngallou	1
Palmarin Facao	1
Palmarin Diakhanor	14
Niodior	11
Dionewar	1
Falia	4,5
Diogane	4
Siwo	3
Thialane	2,5
Bassar	8,5
Bassoul	8
Djirnda	14,5
Maya	22
Baout	1
Vélingara	2,5
Rofangué	2,5
Total	116

Plan de gestion de la RBDS (2000)

Diouf J B (2011) souligne que « dans le cadre même du reboisement avec le projet « Mangrove de la côte ouest de l’Afrique : caractérisation, diversité et sylviculture (Gambie & Sénégal » financé par AFORNET, des contrats de travail ont été signés entre l’Institut Sénégalais de recherches Agricoles (ISRA)/ Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Bambey et le GIE de MASSAND de Mar Fafaco et le Réseau des Organisations Communautaires de Simal pour un Développement Durable (ROSCID). Ces contrats prévoient alors des activités de piquetage, de recherche de propagules, de plantation et de suivi des essais.

C’est ainsi qu’un terrain de vingt mille (20.000) propagules a été aménagé dans les zones de Simal et de Mar Fafaco. Et cela pour quatre (4) ans soit un total de quarante mille propagules ».

Selon Diouf J B (2011) « contrairement au reboisement du *Rhizophora*, la restauration de l'espèce *Avicennia* se fait suivant trois phases : la récolte, la pépinière et le reboisement. Ces réalisations nécessitent une protection de grande envergure sans faille à cause de la fragilité de l'écosystème demandant ainsi une implication totale de l'ensemble des acteurs ».

Photo 30: Reboisement d'*Avicennia* à Fimela



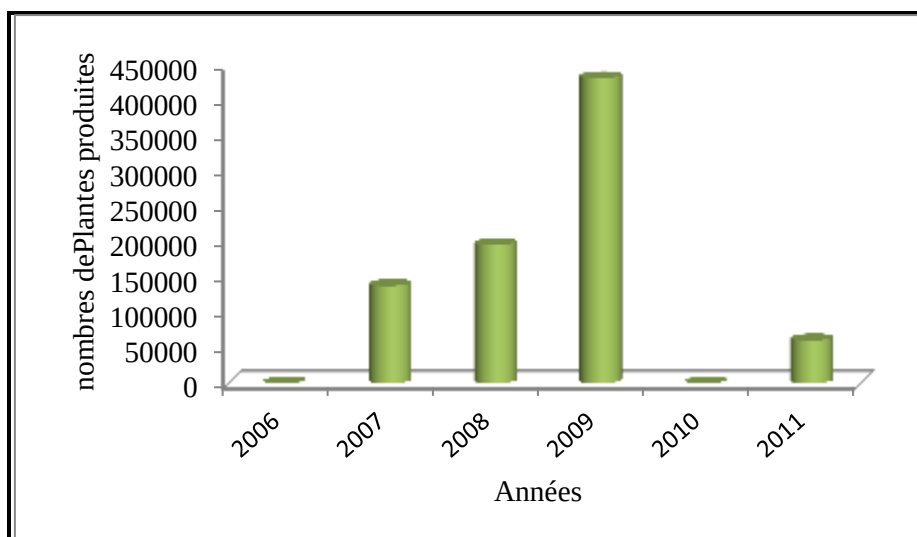
Cliché Diouf, J B, août (2011)

Photo 31: pépinières et le reboisement des Avicennia

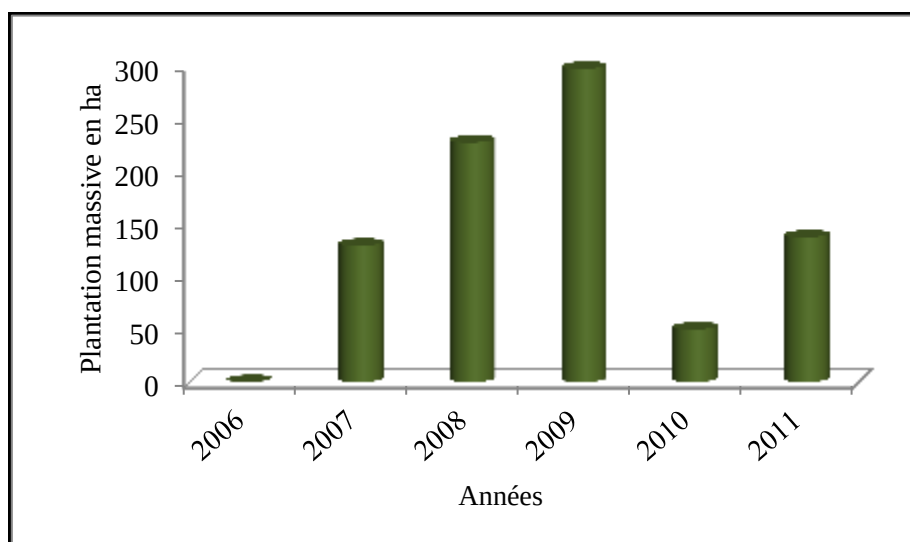


Cliché Diouf B.J, août 2011

D'après Faye B (2012), « entre 2007 et 2011, la plantation massive a été effectuée sur 842,05 ha (figure 76) contre 300 ha prévus en fin de projet soit un taux de réalisation de 28,1 %. En 2011, elle a été réalisée sur 137,45 ha sur 842,05 ha prévus, soit un taux de réalisation de 16,3 %. Selon le PAPIL (2011), l'évaluation faite par le CSE au courant du mois de Juillet 2011 dans les plantations datant de 2007 à 2009, a montré un taux de réussite variable entre 15 et 85 % suivant les zones d'intervention ».



Graphique 44: Situation de la production de plantes entre 2006 et 2011,
PAPIL, (2011) in Faye B (2012)



Graphique 45: Situation de la plantation massive reboisée entre 2006 et 2011
PAPIL (2011) 2011 in B Faye (2012)

Tableau 122: Répartition des 109,3 Ha de la RNA selon les villages

Villages	Nombre d'espèces	Superficie (ha)	Nombre d'arbres / ha
Boyard Ndiodiome	296	17	17
Boyard Tock	38	4	10
Dack	474	58,5	8
Diagamba	15	1	15
Sing Boyard	734	28,8	25
Total	1557	109,3	76

Faye B (2012)

Mais l'aménagement des vasières est souvent lié à des contraintes de diverses natures dont quelques-unes sont soulignées dans le tableau N° 132 ci-après proposé par Sy Boubou Aldiouma (2002)

Selon ce tableau 132, l'aménagement des vasières renferme certaines difficultés si leur dynamique morphologique n'est pas maîtrisée et si leurs caractéristiques géographiques sont inconnues. Ce type d'aménagement rencontre donc des limites inhérentes aux moyens et aux connaissances des paysans.

Tableau 123: contraintes à l'aménagement de la vasière à mangrove

Caractères géographiques	Vastes étendues de vase et sables d'argile et de limons recolmâtées d'eau salée (marée ou bolong) inondation bioquotidienne ou éternelle.
Formations Superficielles	Vase fine grise ou cendre silteuse noirâtre ocre contenant de la matière organique putride.
Dynamique Morphologique	Réduction des vasières par extension des tannes. Pas d'infiltration mais alternance submersion exondation par la marée ou submersion permanente.
Type pédologique	Acidification-sols sulfatés acides
Composition hydrologique	6 grandes familles de palétuviers /culture de d'huitres et cueillette./ aucune autre végétation.
Végétation/culture	Baisse et montée de la marée. Des parties toujours submergées et d'autres par alternance selon la marée.
Dégradation/conservation	Problème de conservation de la biodiversité. Dégradation de la mangrove par les climats arides. Reboisement naturel ou artificiel.
Limites /Aménagement	Cueillette des huîtres, des arches du miel, riziculture (Diola) mise en place de digue et de diguette ou de barrages anti-sel dessalement de l'eau marine

Sy Boubou Aldiouma (2002)

Plusieurs études ont tenté d'expliquer les phénomènes de salinisation des terres et de proposer des solutions de récupération depuis 1964; Giffard, 1972; Vieillefon, 1977; Niang 1985; Sadio, 1985; Daffé et Sadio, 1988; Sadio, 1991; Sarr, 1994). Les sols salés du Sine-Saloum ont été caractérisés par Daffé et *al.* (1987).

Facteur fondamental dans la dynamique littorale, les tannes peuvent être l'objet d'aménagements surtout par leur exploitation en casiers de sel.

Les tannes, peuvent être assimilés à d'anciennes vasières à mangrove qui ne sont plus submergées régulièrement et correspondent aux parties intertidales et supra tidales.

Les géomorphologues les divisent en :

- tannes nus avec efflorescences salines ;
- tannes herbus,
- tannes inondables séparant la vasière à mangrove des tannes nus.

Avec la croissance démographique de plus en plus importante et l'avancée de la langue salée, la pression agricole sur les terres arables devient de plus en plus importante. En réponse à cette demande en terre croissante, les populations ont défriché certaines réserves naturelles et les zones marginales telles que les plateaux, les zones de parcours.

Le phénomène de salinisation des terres a pris des allures d'une véritable catastrophe écologique par une forte extension des espaces dénudés, sursalés, hyper-acidifiés et impropres à la culture ou «tannes vifs ». Il s'en est suivi une décadence drastique de la mangrove et de notamment en Casamance et dans le sud du Sine Saloum.

La tentative de récupération des terres salées a été longtemps initiée par le pouvoir colonial. Ainsi « dès 1938, le Service de l'Agriculture du Sénégal et la Société de Prévoyance de Kaolack, se sont intéressés au développement de la riziculture dans la région du Saloum et plus particulièrement dans la subdivision de Fatick.

Diouf Fatou (2013) a souligné que « les premières actions d'afforestation des tannes après l'indépendance datent de 1967 (Giffard, 1972, in Sarr A, 1994). Ces actions avaient pour objectif principal de tester la productivité ligneuse de ces types de sols (ibid. 1994).

Les premières essences introduites étaient *Melaleuca sp*, *Eucalyptus sp*, plusieurs *Acacias* australiens (*Acacias holosericea*, *Acacia trachicarpa*, *Acacia bivenosa*, *Acacia lumida*, etc.). Les essais ont été réalisés par le Centre Technique Forestier Tropical (CTPT) qui deviendra le Centre National de Recherches Forestières (CNRF), puis Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA).

A partir de 1983, un projet de développement forestier appelé PRECOBA prend en charge la vulgarisation des résultats obtenus par la recherche ». Dans certaines îles, comme à Fayako, Sarr A, (1994) soutient que « la population locale doit abandonner la mise en culture des glacis de raccordement et enrichir la végétation naturelle de ces unités par la plantation d'espèces aptes à la production de bois et de fourrage ligneux. L'exploitation agricole doit se faire au niveau des tannes arbustifs à arborés correspondant dans l'île à la forêt de Fayako. Les terres cultivées doivent être fertilisées par le parcage du bétail, l'apport de fumier, l'épandage d'engrais minéral ou la mise en jachère après quelques années de culture ».

8 .1.2. Les tannes.

8 .1.2.1. L'aménagement des terres salées.

La récupération sols de tannes sur une grande superficie ne se réalise qu'avec certains travaux d'aménagement au niveau de l'espace d'étude. Ces aménagements concernent la maîtrise de l'eau et les techniques de dessalement, de désacidification et de drainage des sols engorgés ou à nappes superficielles.

Dans d'autres, comme les îles de Mar, en 1940, une digue longue de 2832 m et protégeant 160 ha de rizières contre l'arrivée des eaux salées de marigots a été construite près de Ndangane. Lors de la deuxième période des aménagements (1948-1957), a été créé le secteur rizicole de Fatick accompagnant la réalisation de 4 barrages sur un ancien bras de mer et l'endiguement d'environ 1550 ha ».

Par ailleurs, Massibot et Carles (1946) préconisent des aménagements hydro-agricoles permettant de piéger l'eau de pluie pour dessaler les tannes et pratiquer la riziculture en pays sérére ». Mais, ces aménagements ont favorisé l'extension des tannes du Sine qui s'évaluent aujourd'hui à plus de 300. 000 ha pour la seule région de Fatick (Sadio S, 1987).

Ces aménagements n'ont pas tenu compte de la dynamique expansive des tannes aux dépens du bas plateau du Continental Terminal. Par ailleurs, d'autres tentatives ont été vaines.

« En effet, les ONG comme (WAAME), CAREM, FIOD, UICN ont appuyé l'activité de reboisement dans plusieurs villages de 1995 à 2002 :

- l'ONG CAREM, appuyée par l'UICN, a planté entre 1995 et 2002 quelques 1000 ha de mangrove et mobilisé 19 villages ;
- l'ONG WAAME a encadré 27 villages et planté 70 ha de 1998 à 2001 ;
- la FIOD encourage les populations qui participent à l'effort de reboisement des mangroves en leur apportant une aide en nature et cela dans 3 villages. Le total des superficies plantées par les villages encadrés par la FIOD s'élève à 240 ha de 1997 à 2001.
- la YUNGAR a fait quelques plantations de *Rhizophora* à Mar Lodji essentiellement.

- le PAGERNA a mis en œuvre à Sadioga et dans d'autres villages des plantations de mangrove ;
- la DEFCCS et la DPN initient et renforcent des plantations dans les îles ;
- la plantation communautaire : à Djirnda, un groupe de femmes a planté 0,5ha de vasière à mangrove et 13 ans après la plantation, les arbres atteignent 2m de hauteur.
- des plantations de mangrove à *Avicennia* ont été initiées par la DPN en 2001, l'ONG WAAME en 2000, des volontaires du village de Moundé, le groupement des femmes de Soukouta, la FIOD. Mais, toutes ces plantations se sont soldées par des échecs ».

Les aménagistes n'avaient pas tenu compte du fait que le but de l'opération est de favoriser le maintien d'une humidité du sol, l'apport en vase pour renouveler la fertilité.

En outre, selon Sow M, (2003), « cette pratique évite l'accumulation excessive de chlorure de sodium dans le profil du sol, provoquée par remontée capillaire (Étude et Gestion des Sols ». L'aménagement des tannes rencontre certaines contraintes liées à plusieurs facteurs comme le sel, leur dynamique morphologique l'étendue de l'espace salé, et les moyens des paysans.

8 .1.2.2. Maîtrise des eaux de surface.

Cette maîtrise constitue un aspect fondamental dans le processus de restauration des terres salées. En effet, pour freiner la sursalure par les inondations par les cours d'eau, il est impératif de créer des ouvrages de protection des sols. Il s'agit de mettre en œuvre des digues et des barrages en terre à l'amont de certains affluents du Saloum et du Sine dans le but de freiner les principaux chenaux de marée. Ces ouvrages permettent d'empêcher les inondations des sols des terrasses basses par les eaux sursalées qui seront ainsi poussées plus loin en amont de Kaolack et de Fatick. L'isolement de ces terres de toute influence directe des eaux des cours d'eau mettra ainsi, les sols à l'abri de la sursalinisation. Les barrages et les digues doivent comporter des ouvertures à clapets pour permettre d'évacuer périodiquement les eaux de rétention.

D'ailleurs, vers les années 1940, la plupart des zones (Faoye, Djilass, Fimela) étaient protégées contre les inondations par de grandes digues (Massibot et *al.* 1946) construites à la limite des terrasses basses. Grâce à la construction de digues, la riziculture a été longtemps pratiquée dans les zones de dépression et des terrasses basses, car elles permettaient de canaliser les eaux de pluies.

Contrairement à ce qui est arrivé en Casamance au niveau des vallées de Guidel (Marius et Cheval, 1980) et de Baïla (Marius et Aubrun, 1980) et dans les anciens périmètres de riziculture du projet ILACO au cours de la période 1963-1975 (Beye, 1972), l'acidification

par poldérisation des sols n'est plus à craindre dans la mesure où les sols sont déjà totalement acidifiés pour la plupart jusqu'à 100 cm de profondeur ».

Photo 32: Ancien aménagement hydro-agricole des tannes du Saloum



Cliché : UICN (2004)

8 .1.2.3. Dessalement

Pour permettre un dessalement efficace des sols, il est primordial que les terres soient aménagées en petites parcelles. Celles-ci devront être cloisonnées par de petites diguettes de rétention, pour permettre l'infiltration des eaux sur place et la dissolution des sels.

Mais, depuis l'installation de la sécheresse, la forte salinité et le manque de maîtrise des eaux de surface n'ont plus permis le dessalement des sols; ce qui a beaucoup compromis la riziculture.

Dans le cas des sols à texture fine ou l'infiltration est très faible, les eaux devront être évacuées vers les cours d'eau à l'aide de drains et d'ouvertures prévues au niveau des digues et des barrages. Les nappes phréatiques superficielles des sols des terrasses basses devront être nécessairement drainées pour abaisser leur niveau en-dessous de la profondeur critique (100 cm).

Ce drainage aura pour intérêt de provoquer la précipitation des sels après dessèchement du profil qui pourront ainsi être dissous et lessivés hors du système pendant l'hivernage. Mais, compte tenu du fait que ces sols présentent encore en profondeur des horizons à pyrite, il faudra veiller à ce que la profondeur de drainage ne dépasse pas 150 cm.

Cette profondeur paraît suffisante pour assurer l'installation des arbres des essences à enracinement pivotant, telles qu'*Eucalyptus spp.*

Pour empêcher la resalinisation des sols par remontée capillaire pendant la saison sèche, il est impératif de protéger la surface par une couverture morte (paille) ou par le travail de la couche superficielle. Ce dernier en provoquant une rupture de capillarité empêche les remontées capillaires.

L'effet du paillage sur le dessalement a été efficacement expérimenté par Beye (1973) en Casamance qui a constaté une réduction de 50 % de la salinité dans la partie supérieure du profil au bout de 4 ans malgré des années peu pluvieuses. Cela a permis la riziculture sur ces sols avec un rendement nettement plus élevé que celui des terres non aménagées.

8 .1.2.4. Amélioration de la fertilité

L'acidification a eu comme principale conséquence un appauvrissement absolu des sols en éléments nutritifs. L'hyperacidité constitue une des contraintes, même pour des espèces supposées peu exigeantes en éléments nutritifs telles que la plupart des essences forestières qui n'arrivent plus à bien s'accommoder de ces sols.

La mise en valeur devra s'attaquer tout d'abord à l'abaissement de l'acidité par la correction du pH à l'aide des techniques de chaulage ou des apports de débris de phosphates. Le chaulage est indiqué par les nombreux chercheurs (Beye, 1973; Dent, 1986; Langenhoff, 1986) comme la principale méthode de correction du pH des sols sulfatés acides. Grâce à l'apport du calcium (Ca^{2+}) l'acidité sera progressivement neutralisée, ce qui permettra l'augmentation du pH. L'utilisation des débris de phosphates par Boivin *et al.* (1987) a permis d'améliorer le pH d'un sol sulfaté acide salé qui est passé de 3,5 à 5,0 et d'assurer la production de riz. Les résultats, quoique donnant un coût prohibitif pour le paysan - 9 tonnes de phosphates/ha - révèlent des possibilités de rentabilisation de ces déchets dans la récupération agricole des sols sulfatés acides du Sénégal. La correction du pH par ces méthodes occasionne des coûts très élevés de telle sorte que la mise en valeur parfois n'est plus rentable, comme l'a démontré Le Ngoc Sen (1988). Celui-ci propose donc de procéder à des techniques d'aménagement de l'eau et d'irrigation par submersion pour lessiver l'acidité. Mais, cela n'est possible que si l'on dispose suffisamment d'eau, car l'élimination totale de l'acidité actuelle des sols nécessite des quantités d'eau très élevées. Pour mettre en valeur les sols sulfatés acides à jarosite jeune, il faudra lessiver sur une profondeur d'environ 100 cm des quantités d'acide de l'ordre 660 mol/m.

8 .1.2.5. Mesures de récupération des terres salées par reboisement.

Des actions de restauration et de valorisation sylvopastorale des terres dégradées par salinisation ont été menées par la recherche forestière sénégalaise dans les régions de Kaolack et Fatick depuis les années 1960. Ces actions de recherche ont contribué ainsi à améliorer les stratégies de récupération et de valorisation de ces terres en associant la lutte mécanique (barrages anti-sel, digues et diguettes) à la lutte biologique (amendements organiques et introduction d'espèces halophiles sélectionnées après un criblage d'espèces forestières et fourragères tolérantes). Des Plans Locaux de Développement (PLD) ont été réalisés dans les quatre communes de la Sous-Préfecture de Fimela (Djilass, Loul Sessène, Fimela et Palmarin) par le PRECOBA en collaboration avec les structures étatiques de développement réunies au sein du CERP (Centre d'Expansion Rurale Polyvalent) de Fimela. Dans ces différents plans, la problématique de la lutte contre la dégradation des terres par acidification et salinisation, occupe une place prépondérante.

Le projet de recherche appliquée dénommé Projet de Reboisement et d'Aménagement des Sols Salés (PRASS) démarré à Ndiaffate en 1999 sur financement CRDI, avait tenté de régénérer les sols sulfatés acides en utilisant des espèces exotiques provenant d'Israël jamais testées au Sénégal (*Tamarix aphylla*, *Atriplex lentiformis* et *Distichis spicata*).

Les recherches menées dans le cadre du projet FNRAA Sols Salés ont permis d'identifier et/ou de confirmer, parmi la gamme d'espèces testées jusque-là, celles adaptées plus ou moins à l'écosystème *tanne* du bassin arachidier. Il s'agit entre autres, des espèces du genre :

- *Malaleuca*, particulièrement *Memaleuca acacioïdes* qui se régénère facilement par semis et drageon au niveau des bas-fonds des tannes herbus;
- des espèces du genre *Prosopis* (*chilensis* et *juliflora*);
- *Acacias locaux* (*nilotica*, *senegal*, *seyal* et *tortilis*).

Nous notons que *Prosopis sp* dont les gousses, très appréciées par le bétail est facilement disséminé par les ruminants. Il devient à la limite proliférant et même envahissant.

Dans le cadre du projet CRDI Sols Salés (actuellement en cours), des résultats préliminaires assez intéressants ont été obtenus. Ils sont publiés dans les actes de « l'Atelier National de Lutte contre la Salinisation et Valorisation des Terres Salées dans un contexte de changements climatiques : Etat des connaissances et perspectives » qui s'est tenu à Dakar du 25 au 29 Avril 2011.

Pour faire face, les acteurs ont initié plusieurs approches à savoir les diagnostics participatifs et le développement participatif de technologies pour capitaliser les expériences.

Un schéma de transfert et d'adoption des technologies a été conceptualisé :

- une gamme très variée de technologies sont développées (digue anti-sel et aménagements secondaires, reboisement, paillage/Mulching, épandage de la matière organique, etc.) ;
- la recherche a capitalisé une grande expérience si nous nous référons à l'historique des stratégies de récupération biologiques développées. En effet, les étapes majeures notées sont :
 - l'acquis important de la recherche sur le criblage des espèces depuis plusieurs années (Espèces du genre *Prosopis*, *Mellaleuca* plus adaptées, comportement des espèces locales assez acceptable, durée de vie des *Acacias* australiens relativement courte, *Bauhinia rufescens* et *Parkinsonia aculeata* sont peu adaptés, etc.) ;
- la bonne maîtrise de la typologie des tannes : tanne nu, tanne herbu, tanne arbustif et tanne arboré ;
- l'amélioration de la diversité biologique par la régénération des espèces herbacées et ligneuses (17 espèces en 2003 contre 23 en 2010 sur le tanne arbustif, 17 espèces aussi bien en 2003 qu'en 2010 sur le tanne enherbé mais avec plus d'espèces fourragères et sciaphiles dans le site de Ndoff) ;
- augmentation des ressources pastorales (dominance de *Dioda scandens Rubiaceae* mais qui n'est appréciée que sous forme de paille) ;
- diversité des variétés de riz cultivées aussi bien locales qu'améliorées ;

Par ailleurs, à travers le projet PRECOBA (Projet de Reboisement Communautaire dans le Bassin Arachidier), le Service forestier sénégalais a mené une expérience de récupération des tannes par le reboisement avec des espèces halophiles. Cette expérience, démarrée en 1990, a eu lieu dans le périmètre de Poukham, du nom du village voisin de Poukham Tock, situé dans la Commune de Mbellacadio. La parcelle expérimentale, d'une superficie de 50 ha, est localisée au bord du bras du Sine. Le déferlement des eaux salées de ce cours d'eau, combiné au phénomène de remontée capillaire des sels et au déboisement, ont engendré une forte salinisation des terres.

La technique consiste à :

- la confection d'une diguette composée d'un bourrelet en terre sur une distance de 1,5 km, végétalisé avec *Sporobolus robustus* et assis suivant les courbes de niveau afin d'éliminer le phénomène de salinisation en surface ;
- la mise en défens de la parcelle afin de promouvoir la régénération naturelle.

Pour cela, il a été mis en place une clôture en fils de fer barbelés avec des piquets à base d'*Eucalyptus camaldulensis*, secondée par une haie vive. Le choix des espèces reboisées a été fait en fonction de la teneur en sel du milieu :

- *Melaleuca leucadendron* en zone de tannes nus salés ;
- *Melaleuca leucadendron* associée à *Acacia holosericea* en zone de tannes avec une végétation herbacée, moyennement salée ;
- *Melaleuca leucadendron* et *Prosopis juliflora* en zone de tannes avec une végétation localement arbustive, moyennement salée ;
- *Acacia holosericea* associée à *Prosopis juliflora* en zone de tannes avec une végétation arbustive, peu salée. Parallèlement, pour protéger ces espèces et assurer la production de bois d'énergie, une plantation massive a été réalisée sur 8 ha avec *Andropogon gayanus*, *Stylosanthes hamata* et *Stylosanthes sp* (strate herbacée), *Acacia holosericea* (strate arbustive) et *Melaleuca leucadendron* (strate arborée).

Les coûts associés à la mise en œuvre des activités proviennent de la prise en charge de la main d'œuvre (mise en place de la clôture, reboisement, surveillance) et l'acquisition de matériel de construction (clôture, petit équipement, etc.). Ils ont été pris en charge entièrement par le projet PRECOBA. Le matériel végétal a été fourni par le service des Eaux et Forêts.

La technique a eu des effets positifs sur la réduction de la salinité, la production d'énergie et la disponibilité de bois de service et de bois d'œuvre pour les populations locales et même au-delà, pour la ville de Fatick. Mais, sa reproductibilité est limitée par le niveau élevé de technicité requis. La recherche et l'expérimentation constituent des préalables pour l'étude de la teneur en sel du milieu, des conditions topographiques et édaphiques. En plus, les coûts de mise en œuvre des activités sont très élevés et il y a un important besoin en matériel végétal. Par ailleurs, la réussite d'une telle mesure est fortement tributaire de l'existence d'un plan de gestion et du respect des normes de pérennisation de la ressource par les exploitants.

Malgré tout, l'aménagement rencontre beaucoup de problèmes liés à la teneur en sel et à la nature du terrain, mais surtout à sa proximité avec les bolongs.

Ces contraintes sont mentionnées dans le tableau ci-dessous 133.

Caractères /Géographiques	Vastes étendues de tannes salés le long des bolongs ou des chenaux principaux. Ils comprennent les tannes nus, ou vifs, tannes herbus
Formations Superficielles	Argile+ sable + sel en granulométrie très fine, ou de la vase fine. Contenant la matière organique en surface ou en profondeur.
Dynamique Morphologique	Déflation éolienne pendant la saison sèche- formation de lunettes colonisées par un tapis herbacé-efflorescence saline sur les tannes nus ou vifs et leur extension aux dépens de la mangrove.
Type pédologique	Sols acides, salés. Sols, sables éoliens sur les lunettes (sables allochtones)
Végétation/culture	Espace nu sur les tannes vifs. Quelques touffes de graminées halophytes sur les tannes herbus.
Composition hydrologique	Faible capacité d'infiltration à cause de l'argile compacte en surface- inondation pendant l'hivernage infiltration moyenne sur les tannes herbues.
Dégradation/conservation	Espaces stériles + inaptes à l'agriculture et à l'élevage
Limites /Aménagement	Parcs à animaux, terrains de sports le long des routes. Quelques habitations humaines-greniers sur pilotis, perte de vastes superficies pour l'agriculture

Tableau 124: contraintes à l'aménagement des tannes

Sy Boubou Aldiouma (2002)

8.1.3. Les vallées fossiles (vallée fossile du Saloum au village de Tounn et du Sine à Mbak Mboye Tolé).

Elles sont souvent barrées par des digues ou diguettes qui sont faites, non seulement pour retenir l'eau mais aussi pour minimiser les pertes de matière organique et minérale. Elles se réalisent sous forme de petits casiers généralement carrés ou rectangulaires permettant la distribution rationnelle de l'eau dans une même parcelle. Elles peuvent remplir deux fonctions principales :

- stocker provisoirement (au cas où il y aurait un problème de salinité) les quantités d'eau qui s'écoulent dans la vallée et dissoudre les sels qui seront évacués comme pour les digues anti-sel ;
- gérer le niveau de l'eau en amont de la digue de rétention pendant la période de croissance du riz cultivé dans la vallée afin d'assurer l'alimentation en eau des rizières.

La longueur de la digue de rétention est fonction de la largeur de la vallée à aménager. Elle peut atteindre 500 à 600 mètres.

Selon l'avis de Bodian B (2011) « certaines digues n'ont pas d'ouvrages d'évacuateur de crue il s'agit parfois des sacs de riz remplis de sable qu'on a ce niveau pour jouer ce rôle.

Le but de ces interventions était de retenir les eaux pluviales dans la vallée, par la construction de digues de retenue, afin de permettre aux activités rizicoles de boucler leur cycle biologique ». D'autres digues sont appelées "digues piste anti-sel" qui possèdent d'ouvrages évacuateurs des crues et servent de piste reliant certains villages, comme entre Keur Mboucki et Tchikat Boyenguel sur le Saloum. Pour le cas de la digue Keur Mboucki/Tchikat Boyenguel, il ne s'agit pas d'un ouvrage anti-sel, Mais, d'une simple piste de passage.

Photo 33: Digue piste entre Keur Mboucki et Tchikat Boyenguel



Cliché Faye G 2013

Photo 34: Vallée de Senghor, pont barrage de Ndiop Ndienguene



Cliché Faye G 2013

Photo 35: Vallée de Médina Djikoye digue piste entre les villages



Cliché Faye G 201

La vallée fossile d'Aga-Foua a servi de parcours d'élevage, car ici les eaux ne sont pas saumâtres.

Photo 36: pont traversant la vallée fossile d'Aga-Foua



Cliché Faye G (2008)

D'autres vallées comme celles de Senghor et de Thiamène ont été aménagées à des fins de cultures maraîchères.

Photo 37: Vallées de Senghor photo et de Thiamène



Clichés Faye G (2008)

8 .2. Les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.

Pour combattre les effets combinés du changement climatique et d'une forte littoralisation, l'Etat du Sénégal, appuyé par les ONG, a élaboré des stratégies de lutte contre l'érosion côtière et la salinisation très perceptibles dans les îles du Gandoul et le long des villages insulaires ou riverains des bolongs.

8 .2.1. La lutte contre l'érosion

Concernant les côtes Sénégalaises, particulièrement, dans la zone allant de la Petite Côte jusqu'aux îles du Saloum, des études ont révélé qu'une perte de 150 m de littoral s'est produite entre 1954 et 2002. Pire, entre le 07 et le 08 septembre 2010, il y a eu 10,5 m d'érosion côtière de retrait de côte en une nuit, le long du littoral (GREP, 2010).

Les actions d'érosion se traduisent par des destructions d'infrastructures économiques et d'établissements humains bien que leurs coûts économiques n'aient pas été encore estimés, l'ensablement des chenaux, la formation de bancs de sable et l'enclavement des îles notamment Djifère et Dionewar (Cissokho. M, 2001).

Les dégâts ont, également, conduit à des relocalisations (déplacement du village de Palmarin et du campement de Djifère, Seck. M, 2006) et mettent en danger plusieurs autres villageois (Ngounoumane, Nguéthie, Sessène, Samsam et Diakhanor, GREP, 2010).

Selon Derancourt, (1995) « pour être efficaces et fiables, les moyens de lutte contre l'érosion doivent se situer dans deux secteurs bien opposés :

- le point de départ du ruissellement
- le secteur d'accumulation.

Cette lutte doit tenir compte de deux aspects ; agronomique et hydraulique

L'aspect agronomique prend en compte la couverture du sol et sa structure.

Une certaine modification de la structure du sol peut engendrer un changement de sa stabilité dans le temps et de sa réaction eu égard aux précipitations ».

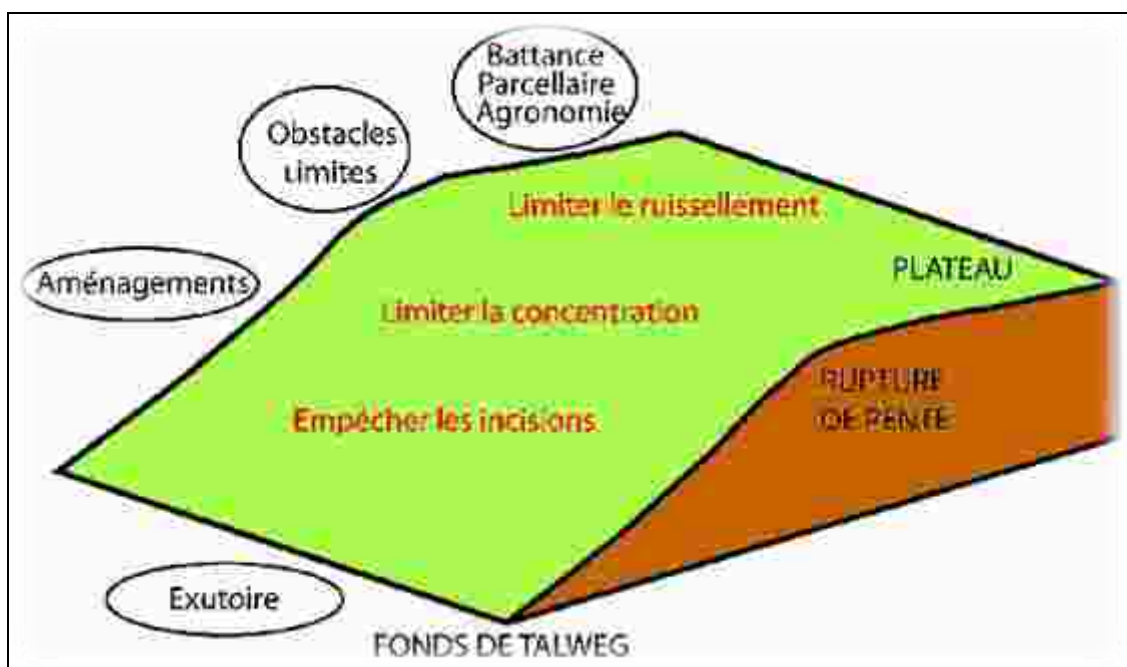


Figure 48: les moyens à mettre en œuvre contre l'érosion

Derancourt, F (1995)

De l'avis de Gauvin D (2000)., « en dehors de la diminution de l'impact de l'effet splash, la végétation peut jouer le rôle de piège à nitrates. Le même Gauvin (2000) donne plusieurs avantages à la méthode par les engrais verts :

- hydraulique (limite le ruissellement en protégeant le sol de la battance et piège les sédiments dans la parcelle) ;
- agronomique (améliore la structure du sol avec végétation et temporairement après enfouissement, facilite la décomposition des pailles) ;

- économique (limite le drainage de l'azote pendant l'hiver, facilite le travail du sol, améliore les rendements de la culture suivante ».

Gauvin (2000)., soutient que « les engrais verts présentent donc des avantages multiples:

- ils contribuent au maintien des sols au niveau des ruptures de pente ou des zones de concentration, à condition de choisir des variétés à système racinaire puissant ;
- ils améliorent la décomposition des résidus de récolte en favorisant l'activité microbienne et biologique du sol ;
- ils divisent le sol par leurs racines et utilisent les reliquats d'azote à l'automne (diminution de la pollution azotée des eaux) ;
- ils laissent le sol dans un état favorable pour la récolte suivante ;
- ils demandent peu de temps de travail et peu de moyens financiers et améliorent très nettement les rendements ».

Au point de vue géomorphologique, pour que la lutte contre l'érosion des sols dans une région agricole, soit efficace, Gauvin (2000)., avance les grands principes suivants :

- « - identifier d'abord les différentes zones suivant les processus dominants, tant du point de vue de la formation du ruissellement que l'érosion elle-même (travail à l'échelle du bassin versant unité spatiale de base) ;
- protéger le sol de l'impact de la pluie ;
- retarder et réduire la formation d'un écoulement superficiel : augmenter la capacité d'infiltration et la capacité de stockage ;
- accroître la protection et la résistance des zones où les conditions morphologiques peuvent favoriser l'incision ;
- réduire les capacités de détachements et de transport du ruissellement en limitant sa vitesse et sa concentration ».

Dans les îles du Saloum, la lutte contre l'érosion côtière s'inscrit dans la stratégie de gestion de l'environnement. Celle-ci correspond à l'élaboration de trois types de plans locaux relatifs à chaque commune. Il s'agit du Plan Local de Développement (PLD), du Plan Local d'Action pour l'Environnement (PLAE) et du Plan d'Occupation et d'Aménagement des Sols (POAS). Le PLD expose, ainsi, la stratégie de gestion et de mise en œuvre des actions et réactions mentionnées.

Parmi ces actions et réactions, relevons dans les PLD de Djirnda (2002), de Bassoul (2003), Palmarin (2007), celles qui concernent l'érosion :

- sensibiliser les populations sur la protection/conservation des écosystèmes de mangrove ;
- reboiser la mangrove sur 20 ha et introduire des plantes halophiles ;

- planter des eucalyptus pour protéger les terroirs villageois ;
- construire des digues de protection dans les villages ;
- former périodiquement des comités de plage sur leurs rôles et missions ;
- activer la procédure de reconnaissance juridique de comités de plage.

D'autres méthodes sont aussi utilisées par les paysans, comme les haies vives et les murs de protection. Les haies vives peuvent aussi atténuer l'érosion en jouant le rôle d'écran et de piège à sable. Les espèces suivantes sont le plus souvent utilisées : *Jatropha curcas*, *Euphorbia holoserieca*, *Euphorbia sp*, *balsamifera* en particulier, *Acacias holoserieca*, *Anacardium laeta*. « On les utilise dans les tentatives de sauvegarder des aires de maraichage, autour des jardins et même des maisons (Thiam M.D 1986) ».

Les plantes les plus utilisées dans cette technique sont : les filaos, *Eucalyptus camaldulensis*, les acacias, *Prosopis juliflora* et *Anacardium occidentale* (Diouf Fatou 2013).

Nous avons remarqué sur le long du littoral, de Dionewar aux îles Bétenti, un tout petit secteur situé à Niodior bénéficiant d'une protection contre l'érosion. Le mur de protection d'une hauteur de 1mètre longe le village jusqu'à la sortie de la localité au sud.

Photo 38: mur de protection du village de Dionewar



Photo 39: Mur de protection de Niodior



Photo 40: barrage anti-érosion sur le marigot de Néma Bah et Gabion antiérosif sur la Néma



Cliché Faye G (2008)

La lutte contre l'érosion peut passer par les stratégies modernes d'équipement hydraulique qui dépendent des moyens techniques des pays ou des paysans d'une région donnée.

Ces stratégies comprennent, la conservation de l'eau et des sols, la mise en défens et la restauration des sols, la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols et les mesures de lutte contre le ruissellement et l'érosion des sols :

- la conservation de l'eau et des sols vise à donner des conseils aux paysans et des moyens techniques pour leur permettre de maintenir la capacité de production des terres, mais aussi, la protection de la qualité des eaux ;

- la mise en défens et restauration des sols consistent entre autres, à fixer par une végétation, l'amont des bassins-versants, à stabiliser les ravines, à restaurer la productivité des terres et à protéger les barrages de l'envasement ;
- la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols qui est une stratégie participative visant à mieux gérer les ressources en eau, en biomasse et en nutriments. Elle soutient que les aménagements antiérosifs ne peuvent être durables sans la participation des populations locales ;
- les mesures de lutte contre le ruissellement et l'érosion des sols qui sont des techniques qui agissent en modifiant le trajet de l'agent d'érosion et en réduisant sa force.

Les aménagistes dénombrent quatre principales mesures antiérosives :

- l'amélioration de la structure du sol ;
- la création d'obstacles au ruissellement ;
- la protection des pentes contre l'érosion ;
- la correction torrentielle.

*Amélioration de la structure du sol concerne le renforcement de la résistance du sol à l'érosion, mais aussi, l'amélioration de la stabilité de sa structure grâce à des amendements de types humifères. Se rencontrent aussi, de bonnes pratiques de gestion du sol par la mise en défens, et la rotation des cultures, car la jachère n'existe plus au Sénégal.

* Création d'obstacles au ruissellement par une couverture permanente du sol dont le rôle est l'interception des gouttes de pluies permettant la dissipation de l'énergie cinétique, diminuant ainsi l'effet "splash". En plus, les plantes ralentissent les eaux de ruissellement par la rugosité donnée au terrain. Les plantes augmentent la cohésion du sol par leur système racinaire.

En plus de la formation de rideaux, des broussailles et des herbes peuvent y pousser pour servir de frein au ruissellement.

Se distinguent aussi des banquettes, qui sont des levées de terre de faible hauteur (0,50 m) établies selon les courbes de niveau; elles sont sous forme de petites terrasses horizontales, perpendiculaires à la ligne de la plus grande pente. Elles permettent de fixer les ouvrages et d'améliorer l'infiltration.

Dans d'autres champs, sont creusés des fossés de protection en amont du terrain à protéger pour intercepter les eaux de ruissellement. Ils sont enherbés. Ils débouchent dans un exutoire adéquat. Par leur disposition le long des courbes de niveau, ils permettent de réduire le ruissellement, améliorer le stockage d'eau dans le sol et favoriser la production fruitière.

La captation des eaux de ruissellement peut se faire par des exutoires servant à recueillir les eaux de ruissellement originaires des ouvrages de canalisation. Ces exutoires sont deux types ; exutoires naturels et artificiels.

Les exutoires naturels ce sont des prairies permanentes installées dans des dépressions pouvant être fauchées ou pâturées ou des bois.

*Les exutoires artificiels comprennent :

- les bandes d'arrêt enherbées ; peuvent réduire le ruissellement de 30 ou 60 % par rapport au témoin et l'érosion de 30 et jusqu'à 10 % du témoin (Roose 1971).

La bande enherbée peut jouer un double rôle : elle permet de lutter à la fois contre l'érosion et contre les pollutions des cours d'eau par les produits phytosanitaires d'origines agricoles et le ruissellement des matières en suspension. Elle est aussi un corridor biologique.

- les haies vives renforçant le cordon de pierre.
- les cordons de pierres qui ralentissent le ruissellement, l'évalent en nappes de telle sorte qu'il s'infiltre en moins d'une heure, provoquant ainsi la sédimentation successive des sables, des agrégats puis des particules fines humifères, lesquelles vont former une croûte de sédimentation.

Enfin, les bassins de sédimentation et de contrôle du débit arrêtent l'érosion causée par un écoulement concentré mais sont inefficaces contre l'érosion en nappe. Ces bassins servent de réservoirs aux eaux de crues pour les petits bassins versants. Ils empêchent l'érosion des terres situées en aval en contrôlant le débit de pointe de l'écoulement du bassin versant.

* La protection des pentes contre l'érosion passe par deux niveaux ; les travaux selon les courbes de niveau et la culture en bandes alternantes.

Ce procédé selon les courbes de niveau, utilisé comme moyen de conservation des sols et de l'eau, n'est efficace que sur les pentes faibles. Sur ces pentes, les travaux selon les courbes de niveau suffisent pour contrecarrer l'érosion en nappe.

La culture en bandes alternantes est un procédé de culture en bandes parallèles qui est utilisé lorsque la pente augmente et que le labour selon les courbes de niveau ne suffit pas pour arrêter l'érosion.

* La correction torrentielle s'applique au ravinement et aux torrents. Les torrents sont des cours d'eau à régime spasmodique, à pente forte et qui travaillent dans des matériaux faciles à affouiller. Ils provoquent beaucoup de dégâts et menacent les villages, les champs cultivés, les voies de communication. Pour cela, une stratégie de lutte contre le ravinement comporte trois étapes :

- l'inspection du ravin pour déceler les causes de l'érosion ;
- l'estimation du débit maximal de l'eau se déversant dans le ravin. Ce débit est fonction de la topographie du bassin versant, de sa superficie, de sa végétation, du type de sol et de la capacité du bassin de retenue des eaux ;
- enfin, la mesure approximative de la longueur et de la pente du ravin.

Ces ravines ont pour objectifs de stabiliser le profil en long de la ravine dans les secteurs où la tendance générale est au surcreusement, de retenir les sédiments dans les sections en transit où l'incision est faible, réduire la vitesse de ruissellement, retenir les sédiments et protéger les infrastructures socio-économiques en aval.

En outre, Roose E (1994) nous propose dix règles pour l'aménagement des ravines :

« 1. Tant qu'on n'a pas amélioré l'infiltration sur le bassin versant, il ne faut pas tenter de reboucher la ravine (sinon elle trouvera un autre lit), mais prévoir un canal stable capable d'évacuer les débits de pointe de la crue décennale (au minimum).

2. L'aménagement mécanique et biologique d'une ravine peut être réalisé progressivement en 6 ans, mais il doit concerner tout le bassin dès la première année.

La fixation biologique d'une ravine vient consolider les versants et le fond de ravine stabilisé par différents types de seuils; si on inverse l'ordre, les plantes sont emportées avec les terres lors des crues.

3. L'emplacement des seuils doit être choisi avec soin selon l'objectif visé. Si on cherche seulement à rehausser le fond de ravine pour que les versants atteignent la pente d'équilibre naturel.

Si on cherche à fixer le maximum de sédiments ou à récupérer des espaces cultivables, il faut choisir les zones à faible pente, les confluent de ravines secondaires, les versants évasés et construire de gros ouvrages-poids qui seront rehaussés progressivement.

4. L'écartement entre les seuils est fonction de la pente du terrain. Le déversoir aval doit être à la même altitude que la base du seuil amont, à la pente de compensation près (1 à 10 % selon la nature du fond de ravine) qui peut s'observer sur place (zone stable sans creusement ni sédimentation). Dans un premier temps, on peut doubler cet écartement et construire les seuils intermédiaires dès que la première génération de seuil est comblée de sédiments ; stabiliser immédiatement les sédiments piégés avec des plantes basses dans l'axe d'écoulement et des arbres sur les versants.

5. Pour éviter la pression hydrostatique des coulées, il vaut mieux drainer les seuils (grillage, chicanes ou pierres libres).

6. Les seuils doivent être ancrés dans le fond et les flancs de ravine (tranchée de fondation) pour éviter les renards et contournements. Au contact entre le sol limono-argileux et les pierres des seuils, il faut prévoir une couche filtrante de sable et de gravier pour éviter que les sous-pressions n'entraînent les particules fines et la formation de renards.

7. Le courant d'eau doit être bien centré dans l'axe de la ravine par les ailes du seuil, plus élevées que le déversoir central. Ce déversoir doit être renforcé par de grosses pierres plates et cimentées ou par des ferrailles pour résister à la force d'arrachement des sables, galets et roches qui dévalent à vive allure au fond des ravines.

8. L'énergie de chute de l'eau qui saute du déversoir doit être amortie par une bavette (enrochement, petit gabion, grillage et touffes d'herbes) ou par un contre-barrage (cuvette d'eau) pour éviter les renards sous le seuil ou le basculement du seuil.

9. Tenir le bétail à l'écart de l'aménagement: il aurait vite fait de détruire les seuils et de dégrader la végétation. En compensation, on peut permettre des prélèvements de fruits, de fourrages et plus tard de bois, en échange de l'entretien de l'aménagement.

10. L'aménagement mécanique n'est terminé que quand on a éteint les sources de sédiments, stabilisé les têtes de ravine et les versants.

La végétalisation doit alors se faire naturellement si on a atteint la pente d'équilibre, mais on peut aider la nature en couvrant rapidement les sédiments (herbe) et en les fixant à l'aide d'arbres choisis pour leurs aptitudes écologiques et leur production. Il faut passer de la simple gestion des sédiments à la valorisation des aménagements.

Dans la réalité, toutes ces mesures sont applicables le long du Saloum, surtout dans les régions où les phénomènes de ravinement sont plus remarquables. C'est le cas dans les Communes de Ndiognick et de Nioro Alassane Tall et le long de la vallée de Malem Hodar à Paffa.

Enfin, selon les aménagistes, « l'originalité de la démarche des traitements des ravines est non seulement de bloquer l'érosion linéaire qui creuse les ravines, de stocker quelques dizaines de m³ de sédiments derrière les petits seuils, mais c'est aussi de valoriser l'eau stockée entre les sédiments captés derrière les seuils ».

8. 2. 2. La lutte contre la salinisation.

Les stratégies de lutte contre la salinisation consistent à construire des digues autour des champs longeant les bolongs, des diguettes intérieures entre les différentes rizières et des digues amont de retenue d'eau pluviale. Sont installés aussi des canaux d'irrigation à partir d'une nappe d'eau douce sous de bassin de rétention, et des tuyaux de communication en troncs de rôniers entre les différentes rizières.

Selon Bodian B (2011) « le barrage anti-sel est composé d'une digue d'une longueur de 30 m en latérite, d'une largeur en crête de 2 m, dans laquelle est placé un évacuateur d'une longueur de 10,5 m en béton comprenant 02 parfois plus, permettant la régulation de la lame d'eau. Ainsi l'ouvrage comporte sur la partie centrale deux glissières distantes de 5 m.

Ces ouvrages sécurisent également la digue en empêchant la crête de la digue d'être submergée lors des crues.

L'intérêt de la digue anti-sel serait d'une part, d'empêcher l'arrivée de l'eau de mer dans cette cuvette en plaçant la digue à l'amont, et d'autre part, de bloquer les eaux de pluie ruisselant des plateaux vers le bas-fond afin de créer un stock d'eau douce en aval de la digue. Cette eau douce permettrait alors de recharger la nappe phréatique tout en permettant la culture de riz ».

Selon Diatta O (2011) et Diallo I (2011) « les digues anti-sel remplissent plusieurs fonctions :

- empêcher que l'eau salée de la rivière n'envahisse la vallée ;
- emmagasiner provisoirement une partie de l'eau douce qui s'écoule superficiellement dans la vallée pour dissoudre les dépôts de sel que l'on peut évacuer en faisant des chasses d'eau périodiques pendant le premier mois de l'hivernage ;
- gérer le niveau d'eau amont de la digue pendant la période de croissance du riz cultivé dans la vallée, afin d'assurer l'alimentation en eau des rizières sans toutefois les inonder à l'excès ;
- permettre pendant la saison sèche, l'entrée de l'eau salée de la rivière principale afin d'empêcher le dessèchement des sols de bas-fonds situés en amont de la digue en préservant ainsi le phénomène d'acidification ».

La dégradation par le sel est telle que des digues anti-sel ont été créées dans beaucoup de localités dans la RBDS. C'est le cas souligné par Ndong A (2005) dans la Commune de Djilass. « Dans la vallée de Mbissel, sept digues ont été construites. La construction des cinq digues, remonte à la période coloniale.

La digue de Fadial a été réhabilitée en 2001 par l'Agence de Promotion du Réseau Hydrographique national (APRHN). Une digue a été construite au Nord-ouest de Soumbel par le COGIV en partenariat avec le FEM et le PNUD, en 1998.

En 2001, CARITAS construit la digue qui est à cheval entre Ngarigne Nanoh et Léona.

Le projet d'aménagement de la vallée de DIOSIRO a construit quatre digues entre 1997 et 1999. Il s'agit de remblayer 6 000 m à raison de 1 500 m de long par digue »

Tableau 125: principales digues anti-sel.

vallées	Nom de la digue	Année de construction	C. R.	Acteur/Partenaires
Mbissel	Fadial	1953	Fimela	P colonial/APRHN
	Ndiob-Nox	1953	Djilass	Pouvoir colonial
	Mbourwaye	1953	Djilass	Pouvoir colonial
	Diawando	1954	Djilass	Pouvoir colonial
	Ndindi	1954	Djilass	Pouvoir colonial
	Soumbel	1998	Djilass	COGIV/FEM/PNUD
	Léona-Ngarigne	2001	Djilass	COGIV/CARITAS
DIOSIRO	Sagnanème	1997-98	Fimela	FIOD/PAM/CRS
	Simal-Roh	1997-98	Djilass	FIOD/PAM/CRS
	Diofior-Roh	1997-98	Djilass	FIOD/PAM/CRS
	Digue des marais	1997-98	Djilass	FIOD/PAM/CRS

Ndong A (2005).

D'autres techniques sont utilisées par les aménagistes. Elles consistent à équiper les casiers rizicoles en vannes. Selon les techniciens de l'aménagement, « les vannes qui équipent les casiers sont conçues sur le principe du clapet anti-retour, étant destinées à assurer la gestion alternée de l'eau de mer et de l'eau douce. Ces ouvrages en béton sont constitués d'un radier, de deux murs et quatre ailes de protection contre l'affouillement.

Des blocs de latérite disposés dans le drain servent de disperseur d'énergie pour éviter l'érosion à la base. La fermeture est assurée par une porte basculante en bois de *Terminalia ivorensis* résistant à l'humidité ambiante. L'étanchéité est renforcée par deux rangées de planchettes qui s'emboîtent au milieu du radier, créant ainsi un espace à remplir de vase ».

Bodian B (2011) dans son travail sur Balingore, explique le principe de fonctionnement de ces ouvrages.

Selon Bodian B (2011), « - en saison sèche l'ouvrage est fermé pour éviter la remontée des eaux salées en cas de marée exceptionnelle dans le bassin versant.

Au début de la saison des pluies l'ouvrage sera ouvert dès l'arrivée des premières eaux de pluies importantes, et des ruissellements et des croûtes de sels déposées sur les tannes.

Après cela, pour bien lessiver les sols, l'ouvrage sera fermé. Les apports d'eau douce seront stockés dans la retenue pour permettre aux sels concentrés dans la couche superficielle des sols de se dissoudre dans l'eau pour ensuite les évacuer en vidant la réserve.

Quand les sols seront pratiquement lavés du sel, l'ouvrage sera fermé en fonctionnement normal. L'eau est stockée dans la réserve jusqu'à une cote compatible avec le développement des plants pour les cultures submergées comme le riz; et en cas d'apports trop importants, l'ouvrage sera ouvert pour déstocker la lame d'eau excédentaire ».

Photo 41: vanne de déversoir des crues de la digue anti-sel sur le marigot de Bignona en 2001



Cliché Bodian B (2011)

Le paillage est une technique traditionnelle de récupération des terres salées.

Le principe consiste à mettre dans des parties salées, des couches d'herbes. Ces dernières ont pour rôle d'empêcher la remontée capillaire du sel pendant la saison sèche (Montoroi J.P.,

1996). Le paillage constitue la technique principale de désalinisation des rizières, et est aussi pratiqué par certains paysans dans les champs de mil.

Dans les champs de mil, il consiste à accumuler des débris issus des récoltes du mil dans la partie salée des champs. Cette méthode semble empêcher l'avancée du sel dans les champs ; elle vise aussi à améliorer la structure des sols, dénaturée par le sel, elle permet aussi de lutter contre l'érosion hydrique et l'ensablement des vallées. Nous avons noté cette technique dans les villages de Thombi, de Sassara et de Ndangane Diène. « La technique du paillage, serait bien adaptée au contexte climatique actuel (Beye G., 1973) ».

Mais, au point de vue pédologique, Bodian B (2011) soutient que « les aménagements modifient la qualité chimique des eaux et des sols. En effet, la dynamique d'inondation devient saisonnière. En saison sèche, les sols de l'amont subissent des périodes d'exondation prolongées qui favorisent les processus d'acidification liés à l'oxydation des sédiments pyriteux. En saison des pluies, leur submersion crée temporairement de nouvelles conditions réductrices.

Au cours des périodes d'exondation, l'existence d'un barrage anti-sel favorise la transformation physique et biochimique des sols de mangrove en sols sulfatés acides. Les sols du bas-fond sont affectés par la salinité, à des degrés divers, selon leur position par rapport à l'ancien lit du marigot.

Des efflorescences salines se forment durant la saison sèche, notamment des sels d'aluminium et de fer en bordure de la vallée. Les eaux de la retenue sont acides (pH d'environ 3) et présentent une salinité qui dépend du degré de dilution par les eaux de pluie et du volume d'eau lâché au barrage ».

Des techniques modernes d'aménagement sont souvent préconisées par les ONG. Elles concernent souvent le reboisement d'espèces exotiques, la régénération naturelle assistée, la mise en défens et le compostage.

Concernant, le reboisement, Diallo I (2011) affirme que « les espèces halophiles utilisées ont pour fonction de lutter contre l'avancée du sel, de réduire l'évapotranspiration, d'améliorer la structure et la fertilité des sols, et de séquestrer le carbone. Ces plantations permettent aussi d'abaisser la nappe phréatique à travers la porosité créée par les systèmes racinaires.

L'eau de pluie remplace l'eau salée de la nappe, évacuée du sol et dilue ainsi les sels de la couche superficielle ».

L'agroforesterie est aussi une méthode de récupération des terres salées. Sarr A (1994), identifie trois pratiques d'agroforesterie dans notre pays à savoir :

« -l'agri-sylvi-culture associant les arbres avec les cultures agricoles, se pratique en Casamance;

-le sylvo-pastoralisme regroupant les ligneux à l'élevage, se retrouve dans la région du Ferlo;

-l'agro-sylvo-pastoralisme combinant les ligneux aux cultures et à l'élevage est pratiqué surtout par les sérères du Sine-Saloum ».

Faidherbia albida contribue à la fertilité du sol en fixant l'azote. Ainsi Dancette et Poulin en 1968, suggéraient qu'en agriculture traditionnelle en milieu sérère, *Faidherbia albida* pouvait compenser, sous son couvert, l'absence de fertilisation chimique ; cet arbre étant susceptible de ramener à la surface des éléments chimiques lessivés en profondeur tels que les nitrates.

La mise en défens est une autre méthode utilisée par les paysans. Faye B (2012) en donne plusieurs exemples :

-« la mise en défens à Boyard sur une superficie de 800 ha, consiste à protéger le milieu contre la divagation du bétail pendant une certaine période, sous forme de clôture en fils de fer barbelés. Les espèces généralement utilisées sont *Meleleuca leucadendron* (sur espace salée), *Acacia holoserica* (sur zone moyennement salée) et *Prosopis juliflora* (sur espace peu salée), *balanites aegyptiaca*.

-la mise en défens à Sakhor, qui s'étend sur une superficie de 100 ha est principalement constituée de deux essences étrangères au site : *Eucalyptus camaldilensis*, *Meleleuca leucadendron*. Elle est clôturée par des fils de fers barbelés ;

- celle de Nobandane est marquée par la présence massive d'*Eucalyptus camaldilensis* et une espèce annuelle (*Sporobulus robustus*). Elle a une densité de plus de 50 grands arbres par ha. Cette mise en défens joue non seulement un rôle considérable sur la restauration des sols, mais elle contribue à l'amélioration des revenus de la population locale. Tous les deux ans, la population gagne plus de soixante-quinze mille FCFA avec la vente du bois issu de ces plantations».

Dans le cadre de la lutte contre la salinité des terres agricoles, le PAPIL a réhabilité en 2007 deux digues anti-sel de régulation qui étaient réalisées par l'administration coloniale en 1958 dans le but de stopper l'avancée de la langue salée. Ces digues qui se situent dans les bas-fonds de Boyard sont la digue de Ngakh et la digue de Kass-no Kokh ».

La digue de Ngakh à 80 m de long, 1 m de hauteur et est calée à la cote de crête de 13 m.

Elle est une digue submersible, en remblai d'argile compacté de 450 m³ et protégé par un enherbement à base de vétiver. Celle de Kass-no Kokh, située à 1 200 m en aval de la première à une longueur de 90 m, une hauteur maximale de 1,65 m et est arasée à la cote de crête de 11,50 m (Dione 2010).

Photo 42: Digue anti-sel de Boyard



Cliché Faye B. (Décembre 2012)

Les impacts des aménagements de la lutte contre la salinisation, ont été mis en évidence par Faye B (2012) dans la Commune de Loul Sessène. Ils sont illustrés par le tableau 135.

Tableau 126: Répartition des surfaces protégées par les digues anti sel

Digues	Superficies protégées (ha)
Digue de Loul Sessène	150
Digue de Boyard	160
Digue de Guessine	plus de 30
Digue de Sakhor Tocane	12
Total	352

Faye B (2012)

Selon Faye B (2012), « la plupart des tannes de Boyard, qui étaient d’abord nus, sont actuellement peuplés par des genres *Eucalyptus* et *Melaleuca* grâce à la RNA réalisée par le PROGERT »

Cette lutte contre la salinisation est plus développée dans les régions de bordures du Sine où beaucoup d’espaces salés ont été sauvés, mais le long de la ligne Fatick- Ndiémou, les champs de cultures sont transformés en marais salants.

8.2.3. La lutte contre la dégradation des Forêts Classées.

Les ressources forestières constituent l'une des principales bases de production dont dépend dans une large mesure l'économie sénégalaise. De nos jours, ces ressources subissent de nombreuses pressions liées essentiellement à la forte démographie, aux variations pluviométriques et aux systèmes d'utilisation des terres. Cette situation explique l'importance des enjeux pour leur conservation et leur pérennité. Ces enjeux sont la reforestation, la bonne gestion des formations forestières et de leurs écosystèmes, la satisfaction des besoins des populations en produits ligneux et non ligneux. Ainsi, le gouvernement, conscient de la dégradation accélérée de la végétation et des conséquences qu'elle englobe, avait mis en place un système de planification qui renforce la rigueur dans la gestion des ressources forestières. En 1981 il élaborait le Plan Directeur du Développement Forestier (PDDEF), qui a été ensuite actualisé en 1992 à travers le Plan d'Action Forestier du Sénégal (PAFS) pour tenir compte du contexte environnemental, socio-économique et particulièrement de la nécessité de responsabiliser davantage les populations dans la gestion des ressources forestières.

« Le Plan Directeur de Développement Forestier (PDDEF) élaboré en 1981, fait ressortir un diagnostic global de la situation forestière du Sénégal pour dégager ainsi des stratégies et des programmes d'action à moyen et long terme, horizon 1981-2016.

Par la suite, le Plan d'Action Forestier Tropical devenu Programme d'Action Forestier Tropical (PAFT) a été proposé comme cadre global pour la formulation des plans d'actions forestiers nationaux et comme mécanisme de mobilisation de fonds pour le secteur forestier (PAFR janvier, 2004) ». L'entrée en vigueur de la troisième phase de la décentralisation en 1997 a aussi joué un rôle important en matière de gestion des ressources naturelles à travers les transferts des compétences au niveau des Collectivités Locales.

L'objectif de cette étude est d'analyser les stratégies développées pour la conservation et la bonne gestion des ressources forestières dans les îles du Saloum et ses régions de bordures.

Dans cette lancée, d'importantes actions ont été développées par l'Etat et les populations locales pour assurer la pérennité des ressources végétales.

8.2.3.1. Les stratégies de lutte développées.

L'engagement de la population est déterminant pour lutter favorablement contre la dégradation des formations forestières. Pour rétablir le déséquilibre forestier, il est important de lutter contre les facteurs principaux de dégradation mais également d'assurer la protection des espèces existantes avant de se lancer dans un programme de reforestation. Les stratégies développées pour lutter contre la dégradation des forêts tournent autour de la mise en défens de certains endroits, la revalorisation des tannes, le reboisement de la mangrove, la lutte contre la salinisation des terres. Depuis les années 1990, les populations devenues conscientes de la dégradation de leur environnement ont mené des actions de sauvegarde et de reboisement au niveau de leur terroir. Des actions de conservation, de restauration et alternatives de production ont été menées par la population en collaboration avec les ONG et les bailleurs de fonds (UICN, Les mangroves du Sénégal: situation actuelle des ressources, leur exploitation et leur conservation., 2003). Grâce à l'appui technique et financier des ONG telles que WAAME, CAREM, FIOD, UICN, PAGERNA etc. des actions de reboisement ont été développées dans plusieurs villages et dans les îles du Saloum entre 1995 et 2002. L'ONG CAREM, appuyée par l'UICN, a planté entre 1995 et 2002 environ 1000 ha de mangrove et mobilisé 19 villages, l'ONG WAAME a encadré 27 villages et planté 70 ha de 1998 à 2001, la FIOD, quant à elle, encourage les populations qui participent à l'effort de reboisement des mangroves en leur apportant une aide en nature. Ainsi, le total des superficies plantées par les villages encadrés par la FIOD s'élevait à 240 ha entre 1998 à 2001.

Le projet PAGERNA aussi a joué un rôle fondamental dans la gestion des ressources naturelles. Il appuie le Conseil Rural dans les communes, dans la recherche de solutions pour protéger et développer les ressources naturelles. Sa stratégie consiste à effectuer un diagnostic environnemental, à élaborer un Plan d'Aménagement et de Gestion des Terroirs (PAGT) et à mettre en place un cadre de conservation pour la mise en œuvre du PAGT.

Dans certains villages des îles du Saloum, pour mieux protéger les espèces végétales et favoriser leur développement, les populations associent les cultures et les arbres. Cette stratégie est considérable dans la protection des espèces végétales. Elle consiste à planter des arbres dans les superficies d'exploitation agricole et de les protéger de toute coupe. Leur exploitation est ainsi défendue par les populations elles-mêmes dans l'aire d'exploitation agricole (Keita 2010).

Avec l'appui du PAGERNA « plus de 34 aires mises en défens ou aires protégées sont recensées dans la Commune. Les peuplements dominants sont *Guiera senegalensis*,

Combretum glutinosum, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia seyal*, *Diospyros mespiliformis*, *Mytragina inermis* avec un taux de régénération prometteur pour beaucoup d'espèces qui étaient en voie de disparition ».

Dans la Commune de Loul Sessène, nous rencontrons les espèces suivantes dans une végétation arbustive et clairsemée : *Acacia albida*, *Adansonia digitata*, *Tamarix senegalensis*, *Detarium senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*.

Tableau 127: Evolution des plantations de 1961 à 1999

Années (période)	1970 à 1980	1981 à 1984	1985 à 1988	1989 à 1994	1995 à 1999
Superficies totales (ha)	10.600	35.883	83.841	121.780	64.201
Réalisées en communautaire (ha)	2319	21.060	69.598	95.000	60.348
Réalisées en communautaire (%)	21,8	58,6	83	78	94

(DEFCCS)

Le reboisement devait viser certaines espèces dans les forêts classées grâce aux avantages offerts aux populations. Il s'agit d'*Anacardium occidentale*, *Cocos nucifera*, *Manguifera indica* et *Annona muricana*.

L'espèce *Anacardium occidentale* mérite à cet effet, une attention particulière, car bien adaptée aux conditions hydrogéologiques de ces sols profonds à nappe phréatique perchée de 1,5 à 7 m de profondeur (Ba et al, 1999).

L'espèce pourrait produire une grande quantité de bois de chauffe pour les populations, minimiser les appels assez importants en bois de mangrove et contribuer à améliorer le niveau de vie des populations par la vente des noix (Ndour, 2005).

Certains types sols de l'île de Fayako sont aptes au reboisement. Cela est confirmé par la revue "Sénésylva n°25, janvier-mars 2001" qui explique que « les terres de la forêt de Fayako font partie de la catégorie des terres à aptitude forestière moyenne avec des potentialités diminuées par les faibles réserves hydriques et la salinité qui font que les arbres

sont plus sensibles. La fertilité chimique y est faible du fait du complexe absorbant du sol qui est incapable de retenir suffisamment de base pour neutraliser l'acidité.

Seules, des essences tolérantes à la salinité et à l'acidité, capables de résister à des déficits hydriques, peuvent donner de bons résultats sur ces sols ». La même revue souligne aussi que « la vasière nue du Nord-est de Fayako correspondrait aux sols sursalés caractérisés par une C.E supérieure à 6ms/cm, une texture limono-argileuse, un pH inférieur à 4 et une nappe très acide, très salées et superficielle ».

Par ailleurs, Diallo I (2011) met l'accent sur la régénération assistée qui consiste à « améliorer la couverture végétale de la superficie dégradée en espèces ligneuses afin de favoriser la restauration de l'écosystème menacé ou dégradé. En effet, elle contribue d'une part, à fertiliser les sols et à lutter contre les actions du vent et d'autre part, à favoriser l'approvisionnement en ressources énergétiques et en fourrage pour le bétail. Elle peut aussi participer au développement agricole. Cette technique consiste à mettre sous surveillance plusieurs espèces locales dans les champs de cultures puisqu'il n'existe plus de forêt laissée au repos ».

Les espèces locales peuvent être testées comme le Ditakh (*Detarium senegalensis*), le néré (*Parkia biglobosa*), et le Dimb (*Cordyla pinnata*).

D'autres méthodes comme la mise en défens et les aires protégées, ont été testées et ont réussi dans la Commune de Ngathie Naoudé le long du Saloum.

La mise en défens consiste à protéger le site retenu contre la divagation du bétail pendant une période donnée sous forme de clôture en fil de fer barbelé. Les espèces généralement utilisées sont *Meleuca lecadendron* sur les secteurs salés, *Acacia holoserica* sur les secteurs moyennement salés et *Prosopis juliflora* sur les autres qui sont peu salés.

D'autres paysans pratiquent le compostage qui, selon Diallo I (2011) « est un procédé naturel qui transforme la matière organique en un produit ressemblant à de la terre, appelé humus.

La matière organique est décomposée par des micro-organismes tels que les bactéries et les champignons qui la transforment en éléments simples dont s'alimentent les végétaux.

Ces micro-organismes ont besoin d'eau et d'air et non seulement de matière organique.

Les endroits ciblés sont essentiellement les vallées où la salinité est très forte. Son objectif est d'augmenter la quantité de matière organique du sol ; de conserver l'humidité du sol ; d'améliorer et de maintenir la fertilité du sol ; de réduire l'acidité et l'érosion des sols.

Selon Mustin C (1987), « le compostage peut être défini comme un procédé contrôlé de conversion et de valorisation de substances organiques (produit de la biomasse, déchets

organiques d'origine biologique) en produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau riche en composés humiques ».

8.2.3.2. La régulation à l'accès des ressources ligneuses.

Elle est variable selon les villages et selon les ressources qui font l'objet d'une exploitation. L'accès y est libre à tous. En effet, les villageois les plus proches de la forêt présentent une priorité sur elle sans pour autant la gérer ou prétendre le droit d'exclure les gens d'autres villages. Dans les espaces non aménagés, la protection des espèces est assurée par un code de règlement plus moral que légal. La protection des formations forestières répond à un consensus mutuel des villageois et se fonde davantage sur le respect de la tradition et de la religion.

Les populations exploitent d'une manière rationnelle les ressources forestières grâce à une réglementation des coupes et de la cueillette. Nous enregistrons, à cet effet, la création de comités de surveillance dans les différents villages. Ces comités sont composés de jeunes et de notables. Ils sont chargés de surveiller et de dénoncer les coupes frauduleuses et abusives effectuées sur les aires boisées. Ils organisent également des activités de sensibilisation sur la nécessité de la préservation de la forêt pour une diminution voire un arrêt des coupes de bois vert.

8.2.3.3. Les actions de lutte contre la pression anthropique.

L'opposition entre la diminution des ressources végétales, et l'accroissement de la population rurale, entraîne la mise en place d'une alternative pour limiter la consommation en bois.

Ainsi, la population utilise-t-elle, des foyers améliorés, moyens qui permettent de générer des économies de combustible de l'ordre de 40 à 60% (ADG, 2012). Ces foyers permettent de conserver plus longtemps la chaleur. De ce fait, la quantité de bois à utiliser pour la cuisson diminue. En effet, il existe de petits foyers améliorés destinés à un usage domestique comme le « Noflaye jeep ». Ce foyer amélioré fonctionne au bois et permet d'économiser environ 50 à 60% de combustible et peut supporter une marmite de 4 à 7 kg.

Photo 43: Petit foyer amélioré fonctionnant au bois dans l'Arrondissement de Koumpentoum



Cliché: Faye Mb, 2013.

Se rencontrent aussi des foyers de plus grande taille, destinés à un usage collectif tel le « Noflaye mbana ». Ce type de foyer a une capacité de supporter une marmite de 15 à 35 kg. Il fonctionne au bois et permet d'économiser de combustible de l'ordre de 55 à 65 %.

Photo 44: Grands Foyers améliorés à usage collectif dans l'Arrondissement de Koumpentoum.



Cliché: ADG, (2012).

En dehors des foyers améliorés, nous enregistrons dans certains villages, l'utilisation de biogaz, technique fonctionnant à base de bouse de vache. Le biogaz permet non seulement de produire l'énergie nécessaire pour la cuisine mais, également de l'électricité pour l'éclairage familial. Cependant du fait du coût et des moyens qu'il demande, l'installation des biogaz n'est pas généralisée dans les villages bordiers. Nous avons rencontré un seul cas dans le village de Sinthiou Mbaye Sy (Commune de Nioro Alassane Tall ; Photo 46).

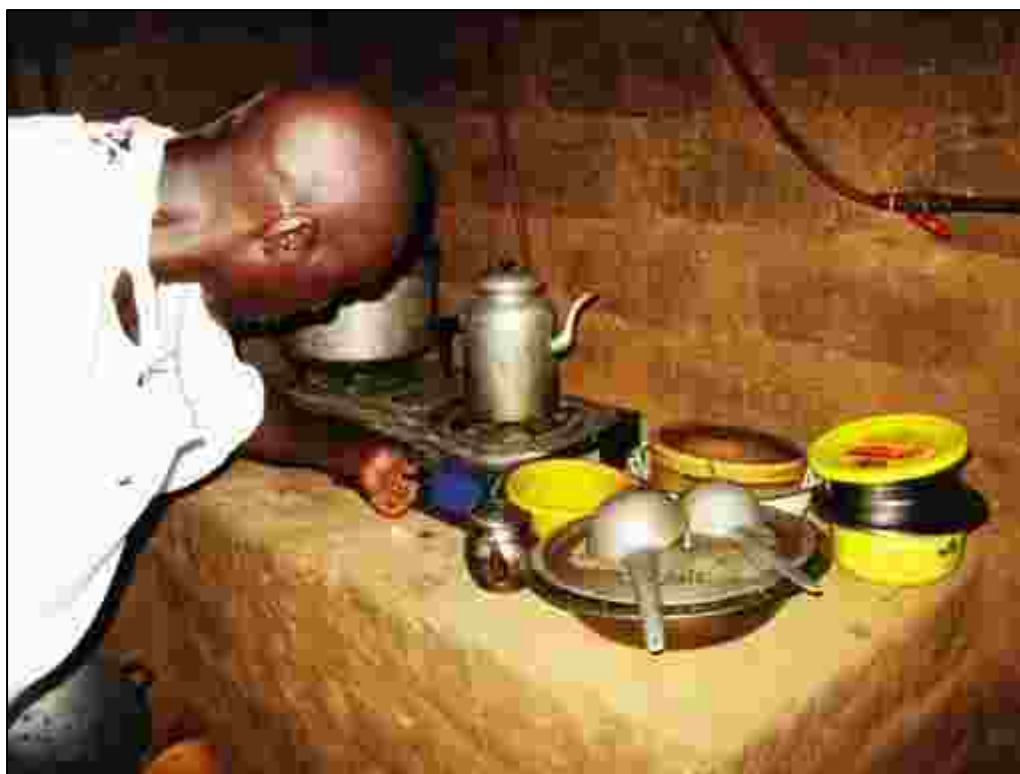
Photo 45: exemple de biogaz dans l'Arrondissement de Koumpentoum.



Cliché : Faye Mb, (2014).

Photo 46: exemple de biogaz dans le village de Sinthiou Mbaye Sy

(Commune de Nioro Alassane Tall, Département de Foundiougne).



Cliché Faye G (2012)

Conclusion partielle.

Les tentatives d'aménagement intégré des unités morphologiques ont été menées par les populations locales souvent épaulées par l'Etat et par les ONG. Mais de projets ont été voués à l'échec. L'aménagement des terres salées à des fins agricoles a réussi dans certains villages des régions de bordures, mais aucune des vallées n'est revitalisée.

La lutte contre l'érosion, la salinisation et la dégradation des Forêts Classées n'a pas atteint jusqu'à présent ses objectifs escomptés. Dans l'espoir d'une vie meilleure, le Saloum souffre de ses maux : la salinité, l'érosion et la dégradation de la végétation.

Conclusion générale.

Cet espace étudié englobe quelques départements, arrondissements et communes, des régions de Thiès, Diourbel, Fatick, Kaolack, et Kaffrine. Il comporte une partie continentale et une zone estuarienne appelée Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum et qui comprend :

- une aire centrale constituée par le Parc National du Delta du Saloum formé par les forêts classées de Bétenti et de Fathala et qui sont fusionnées depuis 1984 et comportant :
- les îles Djinack y compris Léba, les îlots de l'océan y compris Sangomar, l'embouchure du Diomboss y compris Poutaké et Gouk, la forêt de Fathala.
- une zone tampon représentée par l'île de Gouk, les îles Bétenti y compris le Bandiala, les "Passes" de Fambine et de Ndaar ;
- et une zone de transition qui comprend : les îles Gandoul y compris le Saloum ;

L'interface estuaire – continent de Foundiougne à Missirah avec ses îlots, vasières, mangroves, forêts classées, réserves forestières et zones de terroirs ».

Le complexe estuarien s'étend sur environ 4310 km². Il est constitué des rivières Saloum, Diomboss et Bandiala, interconnectés par un lacs de chenaux de marée. Cet estuaire isole deux grands ensembles d'îles : les îles Gandoul au nord, Bétenti et Fathala au sud qui sont formées à partir de cordons littoraux sableux.

Le bassin versant est vaste de 29720 km² avec un relief plat dominé par 218 amas coquilliers dans le domaine insulaire et par le bas plateau du CT dans les régions de bordures, il comporte 200 îles et îlots.

Au point de vue géologique, la région appartient au bassin sédimentaire sénégal-mauritanien d'âge secondaire et tertiaire ; la formation du golfe sénégal-mauritanien a commencé au Jurassique supérieur par une sédimentation marine chimique suivie d'une phase sédimentaire marine détritique dans un contexte de subsidence.

Après cet épisode, surviennent des dépôts marins fins albiens supportant des dépôts marins détritiques durant une subsidence au Cénomaniien.

Du Turonien au Maestrichtien, la sédimentation marine fine se relaie par des dépôts marins détritiques grossiers dans une alternance de transgression et de régression.

Certains secteurs sont couverts par les dunes ogoliennes sous forme de faciès de plaine sableuse.

Le système reçoit une faible quantité d'eau douce à partir de quelques rivières dont les principales sont le Latmingué, le Tyikat, le Diéri, le Tawa, le Bil, le Néma, le Senghor, le Ndiosmone, le Foua, le Faoye et le Djas.

Les autres vallées sont le Djikoye, le Saladinghoto, le Badinghoto, le Fathala, la mare du dragon et le Mansarinko, auxquelles s'ajoutent beaucoup de vallées fossiles, des marigots et des mares dans les régions de bordures.

L'analyse de la dynamique ancienne des climats dans ces régions, a révélé que toutes les ères géologiques ont connu des changements.

Les facteurs naturels et anthropiques de ces changements ont été dégagés.

Les 10 années les plus chaudes entre 1880 et 2011 ont été répertoriées.

Les isohyètes tendent de plus en plus vers le sud en Afrique occidentale. Pour preuve, dans le domaine du Saloum l'isohyète 600 mm qui était au nord en 1940 est descendue à la frontière avec la Gambie en 2000, plaçant toute la bande dans le climat sahélo-soudanien qui a connu des indices pluviométriques négatifs en 1915, 1925 et à partir de 1968 jusqu'en 2000.

Au niveau du domaine tropical, les impacts ont porté sur la dynamique océanique, sur les autres écosystèmes, dans la mangrove, les impacts géomorphologiques comme l'accélération de l'érosion des sols, l'accentuation du processus de désertification, la salinisation des terres de cultures et surtout dans l'élévation du niveau marin aboutissant à la submersion de certains archipels.

Au point de vue climatique, la position géographique place l'estuaire et sa zone d'influence dans le bioclimat soudano-sahélien caractérisé par la grande variation spatio-temporelle des précipitations.

La zone se trouve entre les isohyètes 1000 mm au sud à la latitude de Djinack Bara, et 300 mm à l'Ouest de Nibane $14^{\circ}56'N/15^{\circ}39'W$, au nord de Diourbel.

Cependant, Ndong J B (1996) a divisé le Sénégal en régions climatiques et placé les rias du Sine-Saloum et leurs bassins versants dans celles de la Petite Côte et de la zone Nord-soudanienne. Mais, la situation actuelle déclenchée par la longue sécheresse des années 1970, fait que la région de Diourbel se retrouve dans la zone Sud-sahélienne et que cette même zone se rapproche de celle du delta du Saloum qui était dans la région Nord-soudanienne.

L'analyse des données climatiques tirées des 8 stations, a confirmé un déficit pluviométrique même s'il y a une reprise à partir des années 2000, que les vents, tout en augmentant de vitesse, sont de prédominance Est.

Par ailleurs, les températures indiquent une tendance à la hausse. Les éléments ont permis de répartir les stations en deux catégories :

- Nord-soudanien continental avec Kaffrine, Nioro, Kaolack et Fatick
- Nord-soudanien côtier avec Mbour, Joal, Foundiougne.

Les facteurs océanographiques même perturbés par les changements en cours, ont largement participé à la dynamique du littoral de la Petite Côte, par la recrudescence de la vitesse des houles, la puissance des courants de retour, la diminution des profondeurs dans certains endroits, la multiplication et l'extension des bancs de sable.

Ces changements ont modifié les conditions océanographiques par une légère déviation des courants marins et des houles, par l'évolution du marnage dont les courbes ont montré un léger accroissement des années 1960 aux années 2000, mais surtout, par une submersion de plusieurs secteurs insulaires comme les cimetières de Siwo, ou par le déguerpissement de certains villages comme Palmarin Diakhanor, Rofangué et Fayako.

Les provinces sédimentaires du large ont présenté un faciès fin, avec des dépôts d'origines différentes. Les faciès sableux sont prépondérants sur une séquence du littoral au large.

Au droit du delta, s'allongent deux flèches mobiles en direction du Sud dont l'une coupée en 1987, constitue l'île de Sangomar, et l'autre fonctionnelle, s'étale au droit de Dionewar.

L'étude sédimentologique a aussi révélé l'existence d'un sable noir coquillier dans l'ensemble des grandes lignes comme les rias du Saloum et du Sine.

Dans la distribution des sédiments, prédominent les courbes leptokurtiques avec dissymétrie à gauche, attestant d'un Kurtosis partout positif.

L'analyse sédimentologique a permis de mettre en évidence, beaucoup de stocks hétérogènes et la présence dans les champs de sédiments en provenance des tannes, cela ne pouvant être imputé qu'au changement climatique.

La dynamique des unités morphologiques a été estimée et a révélé une réduction des aires de vasière à mangrove, une extension des tannes aux dépens des terres de cultures et une expansion des vasières nues évoluant en tanne.

Dans le domaine insulaire et le long du Sine, l'accroissement de la superficie des tannes, souvent liée au recul de la mangrove, ou aux dépens du bas plateau du CT, les efflorescences salines, sont défavorables au développement du couvert végétal.

Au point de vue paléoenvironnement, le long du Sine, la mangrove et les eaux salées s'arrêtaient à la latitude du village de Ndoss Jaraff, tandis que le long du Saloum, la mangrove a laissé des témoins fossiles à la latitude du village de Keur Aladji Kharendère, et les eaux salées s'engrouffraient dans le marigot de Diamal.

Dans l'ensemble, les faciès sédimentaires ont été modifiés, les déficits hydriques récurrents ont engendré l'accentuation des processus éoliens et l'extension des tannes aux dépens des terres agricoles du bas plateau du Continental Terminal et l'ensablement des rizières insulaires et continentales, la salinisation des nappes d'eau superficielles et souterraines.

Les changements globaux ont laissé leurs marques indélébiles sur les écosystèmes. Ces empreintes sont visibles dans le domaine du Saloum et dans les régions de bordures et se reconnaissent par :

- la rareté de beaucoup d'espèces guinéennes pour la flore ;
- La réduction progressive de la mangrove ;
- l'extension des tannes aux dépens de la végétation sur le bas plateau du CT ;

Finalement, toutes les composantes de l'estuaire et de ses régions de bordures ont été modifiées par le changement climatique d'où la nécessité de tenter des mesures d'aménagement des unités morphologiques pour dans le but de réhabiliter l'économie du milieu fondée sur la pêche, l'agriculture et le tourisme. Mais, même si ces aménagements ont réussi dans certains endroits par des opérations de reboisement et de désalinisation de rizières, les acteurs n'ont pas réussi à stopper ou à atténuer l'érosion littorale et à revitaliser les vallées fossiles. Dans ces conditions, l'avenir des îles et des régions de bordures reste incertain en termes de subsistance.

Au total, un milieu mis en place par les changements climatiques quaternaires et dont leurs impacts sont amplifiés par le changement climatique en cours qui y a entraîné d'autres impacts.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

ACKERMANN G. et *al.* (2006) : « Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur la Petite Côte et dans le delta du Sine-Saloum (Sénégal) ». *Vertigo – La revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 7, n°2, URL : <http://vertigo.revues.org/2206> ; DOI : 10.4000/vertigo.2206

ACKERMANN G. et *al.*, (2007) : « Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur le Petite Côte et dans le delta du Sine-Saloum (Sénégal) ». *Vertigo*, vol. 7, No°2, Art.16.

ADAM J. G., (1958) : « Floristique des pâturages salés (halophytes et subhalophytes) et végétation des rizières du Sine-Saloum ». *Journ. D'Agric. Tropic. ET de Bot. Applic.* N° 8-9, p. 505-664.

ADAMS W. Y., (1977): *Nubia, corridor to Africa*. Londres, 797 p.

ADG (2011). ; La mangrove, un écosystème à protéger ; guide pratique à l'usage des communautés rurales du delta du Saloum ; Sénégal, 92 pages, in www.adg.be

AGBOGDA C., DOYEN A., (1985) : *La mangrove à usages multiples de l'estuaire du Saloum (Sénégal)*. Dakar : UNESCO-MAB-EPEEC, 145 p.

ALBERGEL J. et DACOSTA H., (1996) : « Les écoulements non pérennes sur les petits bassins versants du Sénégal ». In Chevallier P. et Pouyaud B. (édit) *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement* (Actes de la conférence de Paris, (mai 1995). IAHS, Publ. n° 238, p. 139-156.

AMARASINGHE M. D. and BALASUBRAMANIAN S., (1992): "Structural property of mangrove stands on the north western coast of Sri Lanka". *Hydrobiologia*, 247; p. 17-27.

AMARASINGHE M. D. and BALASUBRAMANIAN S., (1992): "Net primary production of two mangrove forest stands on the north western coast of Sri Lanka". *Hydrobiologia*, 247; p. 37-47

AMOS, C. L., AND E. L. KING. (1984); Bedforms of the Canadian eastern seaboard: A comparison with global occurrences. *Mar. Geol.* 57: 167-208.

ANTHONY E., (1990) : « Environnement, géomorphologie et dynamique sédimentaire des côtes alluviales de la Sierra Leone (Afrique de l'Ouest) ». *Rev. Analyt. Qual. Et Appl.*, 27 et 28, Nice, 189 p.

ARNOLD, J. G., AND J. R. WILLIAMS. (1987); Validation of SWRRB: Simulator for water resources in rural basins. *J. Water Resource. Plan. Manage. ASCE* 113(2): 243-256.

AUBREVILLE A., (1949) : *Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale*. Soc. Ed. Géogr. marit. Colon, Paris, 357 p.

AUSSEIL-BADIE L., (1984) : « Saloum-Diomboss-Bandiala, milieu organique : foraminifères. Atelier d'études des mangroves et estuaires du Sénégal : Saloum et Somone. Rapport 1 final UNESCO, Division des Sciences de la mer: 28-29

AUSSEIL-BADIE L., BARUSSEAU J. P. et DESCAMPS, C., (1991) : "Holocene Deltaic sequence in the Saloum Estuary, Senegal". *Quaternary Research*, 36, p. 178-194.

BA A. T., SAMBOU B., (1999) : *Flore et végétation ligneuse de la réserve de la Biosphère du Delta du Saloum. Etat actuel, tendances évolutives et facteurs structurants*. Dakar : UICN, rapport de consultation pour l'élaboration du plan de gestion de la réserve de biosphère du Delta du Saloum (RBDS), UICN 129 p.

BADIANE A.N, KHOUMA. M et SENE. M, (2000), *Gestion et transformation de la matière organique, synthèse des travaux de recherches menés au Sénégal depuis 1945*, ISRA, Institut du Sahel (CILSS) et CTA, 131 p.

- BALLEYDIER A. L., (2009) : *Océans et mer*. Petite encyclopédie Larousse (2009)
- BARBEY C., (1982) : *Les ergs du sud-ouest de la Mauritanie et du nord du Sénégal*. Thèse d'Etat lettres UNIV Paris, 2 tomes, 454 p.
- BARUSSEAU J.-P., (1973) : Evolution du plateau continental rochelais (Golfe de Gascogne) au cours du Pléistocène terminal et de l'Holocène. Les processus actuels de la sédimentation. Thèse Sc. Nat., Univ. Bordeaux I, n° 9124.
- BARUSSEAU J.-P., (1980) : « *Essai d'évaluation des transports littoraux sableux sous l'action des houles entre St Louis et Joal* ». *Bulletin de Liaison de l'ASEQUA*, n° 58-59, décembre 1980, p. 31-39.
- BARUSSEAU J.-P., (1983) : *Analyse sédimentologique des fonds marins de la Petite Côte (Sénégal)*. Rapport du programme « Environnement côtier ». ISRA/CRODT Dakar, 65 p.
- BARUSSEAU J.-P., (1984) : *Analyses sédimentologiques des fonds marins de la « Petite Côte » (Sénégal)*. Documents scientifiques du CRODT/ISRA, n° 94, 22 p.
- BARUSSEAU J.-P., (1987) : Phénomènes d'érosion des côtes en Afrique de l'Ouest (Sénégal-mauritanien) ; Processus de sédimentation et d'érosion sur le littoral in Ceccaldi
- BARUSSEAU J.-P., DIOP E. S. et SAOS J. L., (1983) : « Caractères hydrodynamiques ». *Atelier d'étude des mangroves au sud de l'estuaire du Saloum : Diomboss-Bandiala (Sénégal)*. Rapp. Fin., p. 11-28.
- BARUSSEAU J.-P. et al. (1984) : « Environnements sédimentaires marins au cours du Quaternaire récent sur la marge atlantique de l'Afrique ». *5° Congr. Europ. Sédimentol., Marseille*, Résumés, p. 43-44.
- BARUSSEAU J.-P., DIOP E. S. and SAOS J. L., (1985): "Evidence of Dynamics Reversal in tropical estuaries, geomorphological and sedimentological consequences (Saloum and Casamance Rivers, Sénégal)". *Sedimentology*, 32, p. 543-552.
- BARUSSEAU J.-P. et al. 1985 : *Conséquences sédimentologiques de l'évolution climatique fini-holocène dans le delta du Saloum (Sénégal)*, 278 p.
- BARUSSEAU J.-P. et al, (1986) : « Conséquences sédimentologiques de l'évolution climatique fini holocène (102-103 ans) dans le delta du Saloum (Sénégal) ». *Océanographie Tropicale*, 21, p. 89-98.
- BARUSSEAU J.P., GIRESSE P., FAURE H., LEZINE A.M., MASSE J.P., (1988), Marine sedimentary environments on some parts of the tropical equatorial Atlantic margins of Africa during the late Quaternary, *Continental Shelf Research*, 8, p. 1-21.
- BARUSSEAU J P et al., 1991: "Holocene deltaic Sequence in the Saloum Estuary (Senegal)". *Quaternary Research*, 36, p. 178 - 194.

- BARUSSEAU J.-P., DIOP E. S., (1994) : « Synthèse sur les facteurs climatiques, hydrologiques et hydrodynamiques ; conséquences sur les phénomènes de sédimentation ». In M.-C. Cormier- Salem [Ed], *Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des Rivières du Sud (du Sénégal à la Sierra Leone)* (Actes de l'atelier de travail de Dakar du 8 au 15 mai 1994), ORSTOM, Coll. Colloques et séminaires, Paris, p. 33-40.
- BARUSSEAU J.-P., BA M. et DIOP E. S., (1999) : « L'environnement physique des Rivières du Sud ». In *Rivières du Sud : Sociétés et mangroves ouest-africaines*. Volume 1, Éditions de l'IRD (ex-ORSTOM) Paris, (nombre de pages).
- BARUSSEAU J.-P. et *al.* (1999) : « Méthodologie pour une simulation des transports granulométriques de sables de la zone d'avant-côte ». *Oceanologia Acta*, 22-2, 1999, p. 179-191.
- BAY T., (2000) : *Contribution à l'évaluation du stock d'huîtres de palétuviers (Crassostrea gasar ADANSON) dans le parc national du Delta du Saloum (Sénégal)*. Mémoire de fin d'études en vue d'obtenir le grade d'Ingénieur Agronome, orientation Elevage. Faculté des Sciences Agronomiques de GEMBLOUX, Belgique, 75 p.
- BEAUFORT F. SIR., (1806) : The scale was devised in 1805 by Francis Beaufort (later Rear Admiral Sir Francis Beaufort), an Irish-born Royal Navy officer, while serving on HMS Woolwich.
- BELLION Y., (1987) : Histoire géodynamique post paléozoïque de l'Afrique de l'ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudénie, Loullemmeden, Tchad). Thèse d'Etat Univ. Avignon et Pays du Vaucluse, 302 p.
- BELLION Y. et *al.* (1984) : « Sismicité historique de l'Afrique de l'Ouest – essai d'inventaire - Remarques et commentaires ». Bull. Ass. Sénégal. Et. Quatern. Afr, 72-73, p. 57-71.
- BELLION Y. et GUIRAUD R., (1984) : « Le bassin sédimentaire : synthèse des connaissances actuelles ». In Plan minéral de la République du Sénégal. BRGM/DMG, Dakar, éd pp 4- 63, 576 -589 641- 669
- BELLION D., DEBENAY T. P., (1986) : « Le bassin sédimentaire sénégal- mauritanien : présentation générale ». In livrets-guides n° 1, 2, 3. Symposium international INQUA ASEQUA (Dakar du 21 au 29 Avril), p. 1- 8.
- BERNARD E., (1962) : « Interprétation astronomique des pluviaux et inter pluviaux du Quaternaire africain ». *Actes IV^e Congr. Panafr. Préhist. et de l'étude du Quat.*, Tervuren, Belg., 1962, vol. 1, p. 67-95.

BERTRAND F., (1993) : *Contribution à l'étude de l'environnement et de la dynamique de mangrove de Guinée. Données de terrain et apport de la télédétection* ; ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses (thèse de doctorat, université de Bordeaux III, 1991), Paris, 201 p.

BEYE G. (1972) Etude des sols tropicaux : acidification, toxicité et amendement 1972

BEYE G., (1973), une méthode simple de dessalement des sols des tannes de Casamance. Le paillage. *Agronomie tropicale* n° 28, p. 537 à 548. COMIDES II, Dakar, Tcp /SEN/4503, 30p

BLASCO.F., (1983) - Mangrove du Sénégal et de la Gambie, stat écologique. Evolution final draft CNRSER, 73, Université de Toulouse 3. Institut de la carte international du tapis végétal, 86p, 20 photos, Toulouse en février

BLASCO F., (1991) Les mangroves, *La Recherche*, vol. 22, n°231, p. 445-453.

BLASCO, F., CARAYON, J.L., (2000). Les mangroves et le niveau de la mer. In : *Le Changement climatique et les espaces côtiers. Actes du Colloque euro-méditerranéen*, Université d'Arles (France), 12-13 octobre 2000, 24-27.

BODIAN B (2011) ; Les Stratégies modernes de lutte contre la dégradation des rizières dans la communauté rurale de Balingore Casamance (Sénégal): cas des aménagements hydroagricoles.

BOIVIN P. et LE BRUSQ., (1985) : Désertification et salinisation des terres au Sénégal : problèmes et remèdes, Rép du Sénégal, Ministère de la Protection de la nature, Ministère du Plan et de la Coopération, Séminaire national sur la désertification 22- 26 avril, 5 pages

BOIVIN ET AL. (1987). ; Conductivimétrie électromagnétique et cartographie des sols salés, cahiers de pédologie ORSTOM, 1988.

BOUKHARI SOPHIE., (2008) : Sols au bord de l'épuisement (article en ligne sur le site de la FAO)

BOULAIN, J., (1975) Géographie des sols. Collection SUP. Presse Universitaire de France. 200 pages.

BOUTEILLER P., (1891) - De Saint-Louis à la Sierra-Léone - Huit ans de navigation dans les Rivières du Sud. Augustin Challamel (Ed.), Paris, Librairie coloniale, 334 p.

BRÜNN P, SCHWARTZ ML. (1985). Analytical prediction of beach profile change in response to a sea-level rise. *Zeitschrift Geomorphology N.F.*, 57: 33-50.

CADAMURO LAURENT., (1999), Structure et Dynamique des écosystèmes inondables (forêt marécageuse, mangrove) du bassin du Sinnamary (Guyane Française), Thèse Doctorat Spécialité : Ecologie Tropicale, Université Paul Sabatier-Toulouse III, 254 pages.

CANTERA et ARNAUD., (1997) *Structure et distribution des associations de mangrove de deux baies de la côte pacifique de Colombie. In Mangrove Ecosystem Studies in Latin America and Africa.* B. Kjerfve, L.D. de Lacerda and E.H.S. Diop (Eds), UNESCO, Paris, France: 71-97.

CARFANTAN JEAN YVES., (1998) ; L'épreuve de la mondialisation 18-Saint-Amand : Impr. Bussière 362 p. : couv ill. en coul. ; 22 cm

CASTON, V.N.D. & STRIDE, A.H., (1970). Tidal sand movement between some linear sand banks in the North Sea off northeast Norfolk. *Marine Geology*, 9: 38-42.

CECILE ANNE, (2011). ; L'érosion côtière en Afrique de l'Ouest. Diffusion: dimanche 30 octobre 2011

CHARNEY J.G., (1975) Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly JRMS*, 101 : 193-202.

CHAMARD PH., (1999-2000). Contribution à l'étude du Sahel et des régions Saharo-Sahéliennes, pour l'habilitation à la direction de recherches, Université de Paris X-Nanterre, 1999-2000.

CHARREAU C ET AL (1996) *l'érosion* et de la dégradation des *terres* et l'importance des recherches sur la protection Cré leurs travaux à l'étude du ruissellement Couvert végétal (facteur C = 1 sahéliennes,..... 16: 439-43.

CHAUMILLON E, (2005). ; Stratigraphie sismique, Morphologie et évolution des vallées incisées, des embouchures et des bancs de sables tidaux. Exemples issus des côtes de Charente– Maritime. Spécialité : géologie marine. L'université de la Rochelle. 138 p

CHAUMILLON E ET AL (2005). ; Estimation et variabilité interannuelle de la dérive littorale sur une plage dissipative, SW Oléron, France. 10^{ème} congrès Français de sédimentologie, Presqu'île de Giens, 11-13 oct. 2005.

CHAUMILLON E ET AL (2005). ; Importance des études aux échelles millénaires et séculaires dans la compréhension de la dynamique sédimentaire actuelle des environnements côtiers : exemples sur les côtes Charentaises, France. 10^{ème} congrès Français de sédimentologie, Presqu'île de Giens, 11-13 oct. 2005.

CHIASERA, S., (1992). Biodiversité et isolement insulaire de la moyenne et grande faune des îles du Saloum au Sénégal. ORSTOM. Dakar. Rapport de stage.

CISSOKO S.M., (1968) – Famines et épidémies à Tombouctou et dans la bouche du Niger du 16^è au 18^è S. *Bull. Inst. F. Afr. Noire*, sér. B, 30: 806-821.

CICIN-SAIN (B.), KNECHT (R. W.), (1998). – Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices, Washington D.C., Island Press, 517 p

CLARK DESMOND et AL., (1986) The Cambridge history of Africa, Londres, –New York, Cambridge U. Press, 8 vol. chronologiques.

CLARKE A. J., (1977) *observational and numerical evidence for wind-forced coastal trapped long waves. J. Phys. Oceanogr.*, 7, 231-247.

CLARKE, A. J., AND D. S. BATTISTI (1981), *the effect of continental shelves on tides, Deep Sea Res.*, 28, 665–682.

COFFINIERE DE NORDECK., (1885) ; la rivière du Saloum : Moniteur du Sénégal, N°2545, pp196-198

COJAN I. et RENARD M., (1997) Sédimentologie Masson édit, Paris, 418 p.

COMBEAU A., (1977) : Erosion et conservation des sols (plus particulièrement en zone tropicale, ORSTOM, 86 pages. Communauté rurale de Niaguis, 2001 : Plan Local de Développement, 78p.

CORMIER – SALEM M.- C., (1985) : De la pêche paysanne à la pêche en mer : les Diola de la Basse Casamance (Sénégal), in La pêche Maritime, ORSTOM, pp. 448- 456.

CORMIER-SALEM M.-C., (1993) : Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des « Rivières du Sud » ; ORSTOM, Coll. Colloques et Séminaires, Paris, 301 p.

CORMIER-SALEM, M.C., (1996).- Les littoraux à mangrove, des régions fragiles ? Eléments de réflexion. Colloque DURR, Orleans, 16-17 octobre 1996

CORMIER-SALEM, M.C., (1999). - The mangrove: an area to be cleared... for social scientists. *Hydrobiology*, 413: pp. 135-142.

CORMIER-SALEM M.-C., (1999) : « Des littoraux aux limites mouvantes » ; in M.-C. Cormier-Salem [Ed], Rivières du Sud. Sociétés et mangroves ouest-africaines, IRD, Paris, T. 1, pp. 17-30.

CORMIER-SALEM M.-C., (1999) : Rivières du Sud : Sociétés et mangroves ouest africaines ; IRD ; Paris, 2 vol. 704 p.

CORMIER-SALEM M. C (1999), Rivières du Sud : sociétés et mangroves ouest-africaines, volume 1, éditions de l'IRD (EX-ORSTOM), institut de recherche pour le développement, paris, 426p.

CSAO/ OCDE (2005). ; Importance économique et sociale du coton en Afrique de l'ouest : Rôle du coton dans le développement, le commerce et les moyens d'existence. Secrétariat du Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE. 72 p

CSE., (1991). Etude de la distribution spatiale et des mouvements de bétail par enquêtes aérienne, 1989 – 1990. Doc. NT91-02, CSE, Pub., 1991. 2 p.

CSE (Centre de Suivi Ecologique [institution sénégalaise]), (1995). Audit Environnemental au Sénégal. Document interne. CSE, Dakar, Sénégal.

CSE., (1996). Identification de zones et sites sensibles à protéger et / ou à valoriser (Activité n°10 du paquet d'impulsion) Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature République du SENEGAL, 46p.

CSE., (1999). Etudes sur l'élaboration des politiques environnementales au Sénégal (Rapport de Synthèse) Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature République du SENEGAL, 91p.

CSE., (2000). Annuaire sur l'environnement et les ressources naturelles au Sénégal (Première édition) Ministère de l'Environnement République du SENEGAL, 268p.

CSE., (2000), Cartographie des changements d'occupation-utilisation du sol dans la zone agricole du Sénégal Occidental (Région de Diourbel), Rapport d'exécution du projet de recherche sur les Rapports entre politiques gouvernementales et investissements paysans en Afrique semi-aride : série Sénégal, Dry lands Research., 15 cartes de terroirs h.-t.

CSE (2005), Rapport sur l'état de l'environnement du Sénégal 231p

CSE., (2008) : Suivi de feux de brousse dans la zone du PADERCA (2006-2007), 15 p.

CSE (2009) ., Annuaire sur l'Environnement et les Ressources Naturelles du Sénégal, Ministre de l'Environnement, de la Protection de la Nature, des Bassins de rétention et des Lacs artificiels, 321p

CSE, (2011). Rapport technique, 33 pages

CSE (2011) adaptation aux impacts du changement climatique ; quelles stratégies d'échanges et de partage de l'information scientifique ; 400 Pages

CSE/CERPOD., (1996). Etude des interrelations Population – Environnement – Développement au Sénégal (Rapport provisoire projet SEN94-PO2/FNUAP) Direction de la Planification des ressources humaines ; Ministère de l'économie, des finances et du plan ; République du Sénégal, 67p.

CSE et CERPOD., (1996). Etudes des interrelations Population – Environnement – Développement au Sénégal. MEFP. DPRH, projet SEN 94 – P02 / FNUAP. 109 p.

CSE/ANEV (2011). ; Communauté Rurale de Sandiara, village écologique de Mbakombell ; plan d'occupation et d'affectation des sols. 36 Pages.

CRAM J.M., (1979) - The influence of continental shelf width on tidal range: pale oceanographic implications. *J. Geol.*, 87: 441-447

DE MIX A C ET AL (1986). ; Late Quaternary paleoceanography of the Tropical Atlantic, spatial variability of annual mean sea-surface temperatures, 0-20,000 years B.P. *Paleoceanography*, 1(1), 43-66,

DE SPENGLER A., CASTELAIN J., CAUVIN J., LEROY M., (1966) *Le bassin secondaire - tertiaire du Sénégal*. In (REYRE D., Ed) *Symposium Bassins sédimentaires du littoral africain, vol.1, Littoral atlantique. Union Internationale des Sciences géologiques / Association des Services Géologiques Africains, New Delhi, p. 80 - 94.*

DABIN B., (1985) : Les sols tropicaux acides, in Cah. ORSTOM, série Pédol., vol. XXI, n°1, pp. 7- 19.

DACOSTA H., (1989) : Précipitations et écoulement sur le bassin de la Casamance, Dakar, Faculté des Lettres et Sciences Humaines (thèse doctorat 3ièm cycle) ; 278p.

DACOSTA H., (1992) ; *Variabilité des précipitations sur le bassin du Saloum. I n Diaw A T et al (édit) gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal ; actes de l'atelier de Gorée 27 29 Juillet 1992 p 87- 103.*

DACOSTA H., (1993).- Variabilité des précipitations sur le bassin versant du Saloum. In: *Gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal.*

DACOSTA H, MALOU R., (1998) ; *Variations spatio- temporelles des précipitations au Sénégal. Analyse de quelques séries pluviométriques sur un gradient Nord/Sud. Communication acceptée au colloque « variabilité des ressources en eau en Afrique au 20^{ième} siècle. » Abidjan 16 -18 Nov. 1998*

DAFFE M., (1987).- Régénération des sols salins du bassin du Sine-Saloum. Cartes (1/15000) et notice explicative. DRPF - Dakar.

DAFFE.M., (1996) -Problématique de la mise en valeur des tannes sur le bassin du Sine Saloum.

DAFFE M., (1987).- Régénération des sols salins du bassin du Sine-Saloum. Cartes (1/15000) et notice explicative. DRPF - Dakar.

DAFFE. M., S. SADIO (1987). ; Régénération des sols salés du bassin du Sine Saloum, 8p, 6 pz, An, 25cartes à 1/15000

DANCETTE C., (1984) – Conservation des eaux et des sols au Sénégal. Séminaire CILSS (Cellule écologique environnement, 66p)

DANCETTE C., (1985) Degradation et régénération des sols dans les régions centre-nord du Sénégal : Cap-Vert, Thiès, Diourbel, Louga ISRA.

DANCETTE C ET LOYER JY., (1985) conservation des eaux et du sol au Sénégal 8p in séminaire national sur la désertification Saint-Louis : 22 - 26 avril 1985

- DAVEAU S. R., (1969) – La découverte du climat au cours des navigations portugaises (XV siècle). Bull. Inst. F. Afr. Noire, sér. B, 31: 953 – 988.
- DAVIES J.L., (1980) - *Geographical Variation in Coastal Development*. 2ème édition, Longman, Londres, 212 p.
- DELOFFRE J (2005). ; La sédimentation fine sur les vasières intertidales en estuaires macrotidales : processus, quantification et modélisation de l'échelle semi-diurne à l'échelle pluriannuelle. Thèse de doctorat, université de Rouen, France. 207 pages.
- DELVIENNE QUENTIN, (2003-2004). Mise en place d'une ostréiculture villageoise pour *Crassostrea Gassar* A., l'huître de palétuvier. CFB/FUSAG (dir. Doucet Jean-Louis),
- DEMOLON ALBERT (1966) Principes d'agronomie. 1, Dynamique du sol 3ième edition published between 1944 and 1966 in French and held by 13 libraries worldwide
- DEMOULIN D., (1967) : Etude de la morphologie littorale de la petite côte de Bargny au marigot de la Nougouma (Sénégal) .DES de géographie, Dakar, 114p
- DEMOLON ALBERT (1968) Croissance des végétaux cultivés 13 éditions published between 1941 and 1968 in French and held by 86 libraries worldwide
- DEMOULIN D et Al., (1969) : « Bilan des recherches sur le Quaternaire du Sénégal à la Mauritanie (1968-1969) » ; in *Bulletin de Liaison de l'ASEQUA*, n° 22, 1969, pp. 91-100.
- DEMOULIN D., (1971), *Géomorphologie du massif de Ndiass et de ses bordures*, Thèse de 3°Cycle, Dakar.
- DEMOULIN D., & NAHON D., (1971), Contribution à l'étude des formations cuirassées du Sénégal occidental, *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, volume XIII, Fasc. 1, pp. 35-54. Tables et annexes 382
- DEMOULIN D., (1971), *Géomorphologie du massif de Ndiass et de ses bordures*, Thèse de 3°Cycle, Dakar.
- DEMOULIN D., & NAHON D., (1971), Contribution à l'étude des formations cuirassées du Sénégal occidental, *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, volume XIII, Fasc. 1, pp. 35-54. Tables et annexes 382
- DENNIS, B., R. A. DESHARNAIS, J. M. CUSHING, AND R. E COSTANTINO, (1995). Nonlinear demographic dynamics: mathematical statistical methods, and biological experiments. *Ecological Monographs* 65:261-281.
- DENT O., (1986). Acid sulphate soils: abaseline for research and development. ILRI, Wageningen, The Netherlands, 39, 200 p.
- DERANCOURT F. (1995) - Erosion des terres agricoles, méthodologie proposées à l'étude de bassins versants agricoles. Rapport Chambre d'Agriculture Pas-de-Calais.

DESCAMPS C., (1986) : « Cultures néolithiques et environnement : le cas du Sénégal occidental » ; in *Symposium international : Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé- Présent- Futur, Dakar, 21-28 septembre 1985*, INQUA – ASEQUA - ORSTOM, pp. 105-107.

DESCAMPS C., (1989).- La collecte des Arches (*Anadara senilis* L.) dans le Bas-Saloum (Sénégal): une approche ethnoarchéologique des amas coquilliers, Travaux du LAMPO, Aix-en-Provence, 131 - 149.

DESCAMPS C THILMANS G., (1979). - *Les tumulus coquilliers des îles du Saloum (Sénégal)*. Ass. Sénégal, Et. Quatern. Afr. Bull. Liaison, Sénégal, n° 54-55; p. 81-91 - Dakar.

DESCAMPS C., THILMANS G., THOMMERET Y., (1974). - *Données sur L'édification de l'amas coquillier de Diorom-Boumak (Sénégal)*. Bull. Assoc. Sén. Et. Quat. Afr. 41: 67 - 83, 4 fig.

DESCAMPS C., THILSMANS G., THOMMERET Y. et HAUPTMANN E.F., (1977). – *Données sur l'âge et la vitesse d'édification de l'amas coquillier de Faboura (Sénégal)*. Ass. Sénégal. Et. Quatern. Afri. Bull. Liaison, 51,23-32

DESCAMPS et AL., (1977) Données sur l'âge et la vitesse d'édification de l'amas coquillier de Faboura (Sénégal), Bull. Ass. Sénégal. Etude Quatern Afr., vol.51 : 23-32

DEUGUE-NAMBOMA, R.M., (2008), Contribution des reboisements de mangrove de la RBDS à la séquestration du carbone atmosphérique : cas des villages de Djirnda et de Sangako du Delta du Saloum (Sénégal), Mémoire de DEA, UCAD, 75 p.

DEUTSCHE GASELLSCHAFT FUR TECHNICHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ). ; Projection et gestion des ressources naturelles au Sénégal. Gmbh Postfach 5180 65726 Eschborn / Allemagne

DYER K.R. ET HUNTLEY D.A. (1999) – The origin, classification and modelling of sand banks and ridges. *Continental Shelf Research* 19, 1285-1330.

DIAGNE, S., (1996) : Plan d'action foncier du Sénégal, Ministère de l'agriculture, unité de politique agricole, Groupes Synergies, 121 pages.

DIAL A. A., (1997), La problématique de la mise en valeur des tannes herbus dans la région de Fatick, Mémoire de DEA, Département de Géographie, UCAD, 46 p.

DIALLO I (2011) Les stratégies de lutte contre la salinisation des sols dans la communauté rurale de Kataba I. Mémoire de DEA département de géographie FLSH/UCAD. 106 p

DIARA MARILINE., (1999) : formation et évolution fini-holocènes et dynamique actuelle du delta Saloum-Gambie (Sénégal-Afrique de l'ouest 16 décembre 1999 Géomorphologie, stratigraphie, sédimentologie et dynamique sédimentaire

DIATTA L ET AL., (1981). Etude phytosociologique IN : Rapport final de l'atelier d'étude des mangroves et de l'estuaire du Saloum (Sénégal), 121-157

DIATTA OUMAR (2011). ; Stratégies de lutte contre la dégradation des ressources naturelles dans la Communauté Rurale d'Enampore (Département de Ziguinchor – Sénégal). Mémoire de Maîtrise, UCAD. FLSH/Géo Dakar 94 pages.

DIAW A.T., (1987) : *Images, une flèche décodée : La flèche de Sangomar. In : Notes de Biogéographie n°4 Nov., p6-21.*

DIAW A.T., (1989), « Images d'une flèche décochée. La flèche littorale de Sangomar », *Coll. Notes de Biogéographie, Etude, Connaissance et Aménagement du milieu*, Dakar, No. 4, 5-21

DIAW. A.T, (1993). Le régime de marée à Djifère (Sine Saloum, Sénégal) : In gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal. Actes de l'atelier de Gorée (Juillet 1992), UICN, 484 pages,

DIAW A.T., (2003), « *Importance de la flèche de Sangomar et des paysages de l'estuaire du Saloum dans le patrimoine naturel et culturel* », in *Mélanges offerts en hommage au Pr. Cheikh Bâ, FLSH, UCAD, Dakar, pp. 193-200.*

DIAW A.T., (1997), « Evolution des milieux littoraux du Sénégal : Géomorphologie et Télédétection », Paris, Université de Paris I, 270 p.

DIAW A.T., THOMAS Y.F., (1987), « *Typology of Lagoba-Ngooxoor's landscapes, Saalum Estuary using data from Spot 1 satellite* », *AIAA, Series Progress in Astronautics and Aeronautics, Washington, Vol 110, 423-432.*

DIAW A.T., DIOP N., THOMAS Y.F., (1990), « Rupture of the spit of Sangomar. Estuary of the Saalum, Senegal », *AIAA, Series Progress in Astronautics and Aeronautics, Washington, 170-180.*

DIAW A.T., DIOP N., THIAM M.D., THOMAS Y.-F. (1991) *remote sensing of spit Development: a case study of Sangomar spit, Sénégal. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplément Band n°81, p. 115 - 124.*

DIAW A.T. BA A., BOULAND P., DIOUF P.S., LAKE L.A., MBOW M.A.

NDIAYE P ET THIAM M.D., (Ed.). Actes de l'atelier de Gorée 27-29 juillet (1992): 87-103.

DIAW A.T. ET AL., (1992) *géographie des terrains salés et nu de mangrove. La problématique des tannes. In gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal, actes de l'atelier de Gorée 27-29 juillet pages 87-103*

DIAW A.T. ET AL., (1983) : « *L'exploitation des données Spot simulées en domaine littoral tropical, les ' îles du Saloum' »* ; Rapport TECASEN – ENSG Montrouge, n° 4, Dakar, 95 p.

DIAW A. T., (1993). - *Le régime des marées à Djifère Saloum, (Sénégal)*. In: *Gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal*. DIAW A.T., BA A.,

DIAW A T., (1997) « Evolution des milieux du Sénégal .Géomorphologie et Télédétection. » Doctorat d'Etat ès-Lettres, Université de Paris I Panthéon Sorbonne, 270 p 98 fig. ; 48 tabl.

DIAW A.T., (1998) : *Evolution des milieux littoraux du Sénégal. Géomorphologie et Télédétection* ; Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Paris I, 266 p.

DIAW A.T., THIAM M.D., (1992) : « Cartographie par télédétection du site Joal - Palmarin (Sénégal) » ; In *Photo-interprétation*, 1991-1992 (2), pp. 89-92.

DIAW A.T, MOUGENOT B ; THIAM M.D.THOMAS Y F., (1988): Apport de l'imagerie SPOT à la connaissance des milieux littoraux du Saloum (Sénégal).In CNES spot1:utilisation des images, bilans, résultats, Cepadues éd., Toulouse

DIAW A.T., LE RHUN J., THIAM M.D., VERGER F., (1993) : « Géographie des terrains salés nus de mangroves : la problématique des tannes » ; in *Gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal, Actes de l'atelier de Gorée, 27-29 juillet 1992*, pp. 43-63.

DIAW A T et AL., (1993), *Gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal*. Actes de l'atelier de Gorée 27/29 Juillet 1992. UICN Gland 484p

DIAW A.T) et AL., (2000).”Notice explicative de la carte d’occupation des sols de la réserve de Biosphère du Delta du Saloum (RBDS) au 1 /50000”, Rapport UICN, Dakar, 20 p; 1 fig.

DIEYE. F., (2005). Problématique de la restauration de la mangrove dans la RBDS : cas du « Projet Mangrove » dans les communautés rurales de Bassoul, Djirnda et Toubacouta, mémoire du diplôme d’ingénieur des travaux des eaux et Forêts (I.T.E.F) ENCR/Bambey, 96 pages.

DIEYE E.B., DIAW A.T., SANE T., SY O., DIOH P., (2011), « Changement climatique et évolution de la mangrove dans la lagune de Joal-Fadiouth (Sénégal) », in *Climat montagnard et risques*, XXIVème Colloque International de l’Association Internationale de Climatologie, Rovereto, Italie, 183-188.

DIEYE E.H.B, DIAW A.T, DIATTA C.S, DE WISPEALARE G., (2013) ; Evolution spatiale de la mangrove de l’estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972et 1999 : Approche méthodologique par télédétection.

DILUCA C., (1976) ; Etude hydrogéologique du Continental Terminal entre le Sine et la Gambie : deuxième phase et rapport de synthèse B.R.G.M

DIONE P. M., (2010) : Caractérisation et mise en valeur agricole des bas-fonds du bassin versant d'Aga-Foua-Djilass, mémoire de maîtrise, département de géographie, FLSH/UCAD Dakar, 144p.

DIOP EL-H SALIF., (1975) : Etude géomorphologique de la pointe de Sangomar et des îles du Gandoul (Sénégal) TER Géographie ; Dakar

DIOP E.S., (1978). - L'estuaire du Saloum et ses bordures (Sénégal). Etude de géomorphologie. Thèse de 3ème cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 247 p, 54 fig., 4 pl. *Réserve de biosphère du delta du Saloum*

DIOP E.S., (1979). - Le plateau continental au large de l'estuaire du Saloum et les îles du Gandoul et Bétenti. Etude sédimentologique et évolution au Quaternaire Récent “. In: UNESCO, Colloque sur les Écosystèmes côtiers, Dakar, UNESCO, Division des Sciences de la Mer (11-15 juin 1979), 17p.

DIOP E.S., (1979) : « L'imagerie Landsat et l'étude géomorphologique de milieux estuariens : le littoral sénégalais, de l'embouchure du Saloum à celle de la Casamance » ; in *Photo-interprétation*, n°5, sept-oct.1979, pp. 39-46.

DIOP. E.S., (1980) – *Sédimentologie et évolution au quaternaire récent du plateau continental au large du Saloum*, In *ann Fac lettres*, n°10, pp319-331

DIOP E.S., (1980). - Vasières à mangrove, tannes et cordons sableux des îles du Saloum (Sénégal): aspects sédimentologiques et minéralogiques. Bull. IFAN., Tome 42, série A, 1: 25-69.

DIOP E.S., (1986). - “ L'écosystème mangrove: l'exemple des “ Rivières du sud “, In UNESCO-MAB Écologie d'un écosystème spécifique à usages multiples: la mangrove, (Cours de sensibilisation, 01-06 décembre 1986, Dakar, Toubacouta), Paris, rapport final, 290 p.

DIOP E.S., (1990). - La côte ouest-africaine du (Sénégal) à la Mellaorée (Rép. De Guinée). Éditions de l'ORSTOM, Collection Études et Thèses, 379 p.

DIOP E. S., (1992). Télédétection et cartographie du littoral au sud du Sénégal (Saloum et Casamance). Communication au séminaire de télédétection appliquée aux sciences de la mer et à la gestion des ressources côtières - UNESCO/ISRA/ORSTOM-UTIS, 3-10 février 1992 - Dakar-CRODT.

DIOP E. S. (Editor), (1992). *Rapport de synthèse du Projet COMARAF UNESCO/PNUD - 315 P. + illustrations - publié à Dakar; Mars.*

DIOP E.S., (1992). *Education, culture, environnement et développement*; 6p, communication au colloque "Culture, Démocratie et Développement"; Fondation Paix et Développement; Dakar, 14-17 déc. 1992; à paraître in *Actes du colloque ISME-ITTO-COMAR*, (1992).

DIOP, E.S. (Ed.), 1993. Conservation et utilisation rationnelle des forêts de mangrove de l'Amérique Latine et de l'Afrique. Mangrove Ecosystems Technical Reports, ISME/ITTO/COMAR 3, 267 pp.

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 Ecosystem Technical reports, vol. 3: 22-38.

DIOP, E. S., (Editor), 1993. Conservation et utilisation rationnelle des forêts de mangrove de l'Amérique Latine et de l'Afrique; Mangrove Ecosystems Technical reports vol.3; 280 P. ISME/ITTO/COMAR, Octobre 1993.

DIOP E.S. et SALL M., (1979). - *Le bas plateau du continental terminal du Bas- Saloum (Sénégal). Observations et résultats d'analyses sédimentologiques et minéralogiques*, Ann. Fac. Lettres, 9: 325 - 341.

DIOP E.S. et SALL M. (1979). - *Géomorphologie et évolution des lignes de rivage holocènes dans les îles du Saloum (Sénégal)*, Bull. Ass. Sénégal. Et. Quatern. Afr., 50: 51 - 58.

DIOP E.S., SALL M., DIAW A.T., NDIAYE P. (1982). - *Hydrologie et géomorphologie des îles du Saloum d'après les données simulées Spot de septembre 1981*, Dakar, DGRST, Rapport TECASEN, 4 p.

DIOP. E.S ; SALL, BARUSSEAU J P., (1983) - *Caractéristique hydrodynamique comparative de deux environnements estuariens Saloum et Casamance. Essai de corrélation avec les données de l'imagerie Landsat*, In *rec. des Travaux du labo de recherche de sédiment Marin de Perpignan*, p62-80

DIOP, E. S., SALL M. M. ET J. P. BARUSSEAU., (1983). *Caractéristiques hydrodynamiques comparatives de deux environnements estuariens : l'imagerie Landsat*. Ann. Fac. Des lettres, n° 13 : 231-251. Dakar.

DIOP E.S., SALL M., (1986) : « *Estuaires et mangroves en Afrique de l'Ouest : évolution et changements du Quaternaire récent à l'actuel* » ; in *Symposium international : Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé- Présent- Futur*, Dakar, 21-28 septembre 1985, INQUA – ASEQUA - ORSTOM, pp. 109-114.

DIOP, E. S., (1989). *Introductory presentation on Marine Science Training and Research in Africa - UNESCO reports in Marine Science, n° 52 (year 2000 challenge for Marine Science Training and Education Worldwide)* - pp. 96-99.

DIOP, E. S., (1989). State of Marine Science and Technology in the ACA region: Atlantic Coast of Africa; paper presented during the United Nations meeting on Remote Sensing and Satellite Meteorology Applications to Marine Ressources and Coastal Management; Maspalomas/Spain; 8-12 may.

DIOP E. S., BA M. ET AL., (1993). - Coastal and sand spit evolution from 1958 to 1992: river mouth (Sénégal, West Africa); 15 p. *in special volume on the «Coastlines of West Africa» - Coastal Zone 93*, published in New York; July 1993.

DIOP E. S., QUENSIERE J. et LEUNG-TACK D. K., (1994). - Rapport de mission d'évaluation du Programme "Pêche Continentale et Aquaculture" (PCA) – Dakar, ISRA/DRPH/CRODT, 46p. + annexes.

DIOP E.S., SALL M.M., DIOUF P.S., THIONGANE S.G. et TOURE I., (1996).
- *Inventaire, suivi et évaluation du site Ramsar du Saloum (Sénégal, Afrique de l'Ouest. Dakar, UICN, 64 p.*

DIOP SAMBA., (2011). Contribution à l'étude de la dynamique littorale de Dionewar aux îles Bétenti. Mémoire de master II département de géographie ; FLSH/UCAD.71 pages

DIOUF J B., (2011); Problématique de la conservation de l'écosystème mangrove dans l'Arrondissement de Fimela : étude de cas dans les villages de Palmarin Diakhanor, Simal, Mar Fafaco et Wandié. Mémoire de maîtrise département de géographie ; FLSH/UCAD.98 pages

DIOUF FATOU (2013). ; Dynamique des unités morphologiques dans l'île de Fayako, mémoire de Master II, département de géographie, UCAD 96 p

DIOUF MAÏMOUNA (2012); Changement climatique et pêche sur la petite côte sénégalaise : cas de la Communauté Rurale de Palmarin. Mémoire de Master 2 ; Faculté des lettres et sciences humaines, département de Géographie ; UCAD 96pages

DIOUF M., (1998) : Sénégal : Les ethnies et la nation, NEAS, Dakar, 281 pages.

DIOUF P.S., (1987).- Le zooplancton de l'estuaire de la Casamance en période de déficit pluviométrique. Thèse Doc. 3ème cycle Univ. Dakar, 142 p.

DIOUF P.S., (1992).- Bioécologie et structure des peuplements de poissons de l'estuaire du Sine-Saloum. Rapp. Scient. CRODT/ORSTOM, 29 p.

DIOUF. P.S., (1996). Les peuplements de poissons des milieux estuariens et lagunaires (MEL) et quelques aspects de leurs relations avec les écosystèmes adjacents, communication IOISN/CRODT/ISRA Dakar, 31 pages.

DIOUF P.S., (1996). Les peuplements de poissons des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest: l'exemple de l'estuaire hyper halin du Sine-Saloum. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 267 p + annexes.

DIOUF P.S et Al., (1998) « La réserve de biosphère du Delta du Saloum : L'environnement aquatique, les ressources halieutiques et leurs exploitation », Rapport UINC, Dakar 107 p ; 17fig ; 13 tabl.

DOMAIN F., (1976) - Les fonds de pêche du plateau continental ouest-africain *Doc. Sc. CRODT*, Dakar, 61, 23 p., 3 fig., 2 cal1es h.-t.

DOMAIN F., (1977a) - *Carte sédimentologique du plateau continental Sénégalais. Extension à une partie du plateau continental de la Mauritanie et de la Guinée Bissau.* ORSTOM Paris (notice explicative n° 68), J cartes en coul. H.-t.

DOMAIN F., (1977b) - *Description de la sédimentation fine ct des formations rocheuses du plateau continental ouest-africain, de 17°N à 12°N. Bull. Ass Sénégal. Et Quatern. An n° 50 spécial: 1-22.*

EINSELE et AL., (1974) - Sea-Level fluctuation during the past 6000 YI' at the coast of Mauritania. *Alta ternary Research*, 4: 282-289

ELOUARD P., FAURE H., HEBRARD L. (1977) Variation du niveau de la mer au cours des 15000 dernières années autour de la presqu'il du Cap-Vert (Dakar - Sénégal). *Bulletin Liaison, ASEQUA*, n°50, p. 29 - 49.

ELOUARD. P., ROSSO.J.C., (1977) – Biogéographie et l'habitat des mollusques actuels laguno-marins du delta du Saloum (Sénégal). *Géobis Lyon*, n°10, fasc. 2, pp275-299, 2 tableaux, 2 figures.

EPEEC., (1982). - Atelier d'étude des mangroves et de l'estuaire du Saloum

(Sénégal). Rapport final. UNESCO, Division des Sciences de la Mer, ROSTA, Dakar, 175p.

EPEEC., (1983). - Atelier d'étude des mangroves au sud de l'estuaire du Saloum: Diomboss-Bandiala (Sénégal). Rapport final UNESCO, Division des Sciences de la mer, ROSTA, Dakar, 219 p.

EPEEC., (1984). - Etude des mangroves et estuaires du Sénégal: Saloum et Somone. Rapport final. UNESCO, Division des Sciences de la mer, Rosta, Dakar, 88 p.

EPEEC., (1986). - Études des estuaires et lagunes du Sénégal: Casamance et Joal-Fadiouth. Rapport final. UNESCO, division des Sciences de la Mer, ROSTA, Dakar: 153 p.

EPEEC., (1987). - Études des estuaires et lagunes du Sénégal. Rapport final. UNESCO, division des Sciences de la Mer, ROSTA, Dakar: 97 p.

EPEEC., (1989). - Études des estuaires et lagunes du Sénégal. Rapport final. UNESCO, division des Sciences de la Mer, ROSTA, Dakar: 55 p.

FALL, A, C, A, L., (2002) Caractérisation des états de surfaces des sols sulfatés acides salés sous aménagements biomécaniques dans le bassin fluviomarin du Saloum, centre-ouest du Sénégal : cas de Ndiaffat. Mémoire DEA.

FAO. (1985). Boisements en milieu rural. Etude FAO: Forêts 64. FAO, Rome.

FAO. (2008a). *Capacity building to implement good animal welfare practices*. Report of the FAO Expert Meeting, 30 septembre-3 octobre 2008. Rome.

FAO. (2008b). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2008*. Rome

FAO. (2008c). *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2008*. Rome.

FAURE H., ELOUARD., HEBRARD L., (1969), Quaternaire du littoral mauritanien entre Nouakchott et Port-Etienne, Association sénégalaise pour l'Etude du Quaternaire africain (ASEQUA) - Bulletin de Liaison, 23-24, p. 15-24.

FAURE H., ELOUARD., HEBRARD L., (1969), Age absolu du volcanisme quaternaire de Dakar (Sénégal), Association sénégalaise pour l'Etude du Quaternaire africain (ASEQUA) - Bulletin de Liaison, 22, p. 15-19.

FAURE. H, VIEILLEFON ET DIOP.CH. A (1974) : évolution de la ligne de rivage Holocène en Casamance, Bull, ASQUA, pages 42-43

FAYE A., (1983), Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du horst de Ndiass et de ses environs (Sénégal), Thèse 3e cycle Univ.

FAYE ABDOULAYE., (Juillet 1994) : recharge et paléo recharge des aquifères profonds du bassin du Sénégal ; apport des isotopes stables et radioactifs de l'environnement et implication paléo hydrologique et paléo climatique. Thèse d'ETAT, université de Dakar 185pages.

FAYE B (2012) ; dynamique de la dégradation des sols dans la Communauté Rurale de Loul Sessène. Mémoire de Master2 UCAD 148 pages.

FAYE G., (1993) : l'érosion côtière sur le littoral sud du Cap-Vert à l'embouchure du Saloum (Sénégal) : thèse de doctorat 3è Cycle de géographie. UCAD. Dakar, 293p

FAYE I B (2010) Dynamique du trait de côte sur les littoraux de la Mauritanie à la Guinée – Bissau. Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et de cartes anciennes, volume 1 Thèse de doctorat d'Etat, université de Bretagne occidentale, 321 pages

FAYE I.B.ND ET AL (2008) Evolution du trait de côte à Nouakchott (Mauritanie) de 1954 à 2001 par photo-interprétation. *Norois*, n°208, 2008/3, p. 11 - 27

FAYE, M., (2010) Eaux et terres salées dans le Sine : Perspectives de valorisation. UCAD, Faculté des Sciences et Techniques, 34 pages

FENSTER ET AL (1993). ; *A new method for predicting shoreline positions from historical data. Journal of Coastal Research*, 9(1), 147-171.

FOLK, R.L., & WARD, W.C., (1957). Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.*, **27**(1), pp. 3-26.

FOLK R.L, (1959) – Practical classification of Limestone AAPG BULL, 43, P. 1-38

FOLK R. L., (1966). A review of grain size parameters. *Sedimentology*, Vol. 6, n°2, pp. 73-93.

FOLK R. L., WARD W. C. (1957). Brazos River bar, a study in the significance of grain size Parameters. *J. Sedim. Petrol.*, Vol. 27, pp. 3-27.

FOLK, R. L., (1968), *Petrology of Sedimentary Rocks*: Austin, Texas, Hemphills, 170p.

FRENZEL B, PECSI M, VELICHKO AA, (1992) *Atlas of Paleoclimates and Paleoenvironments of the Northern Hemisphere. Late Pléistocène– Holocene*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

FUCHTBAUER (1959). Fonte de la banquise (glace de la mer) et élévation du niveau marin.

GAC J Y et AL (1990). ; Le haut bassin du fleuve Sénégal. Etude financée par le projet EQUISEN (Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal).

GALL J.C., (1976) – Environnements sédimentaires anciens et milieux de vie. Introduction à la Paléoécologie. Sciences Géol Strasbourg, Mém. n° 2, 228 p.

GALLAIS J., (1977) Stratégies pastorales et agricoles des Sahéliens durant la sécheresse de 1969-74. CNRS, Bordeaux. 281 pp.

GAUVIN D. (2000) - Inventaire des zones sensibles à l'érosion des sols en vallée d'Authie dans une perspective d'application des mesures agro-environnementales. Mém. D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P., Univ. Picardie Jules Verne, 105 p. + annexes et cartes.

GAYES C. B et SARR R., (1983). - Hydrogéologie des îles du Saloum (données liminaires sur les eaux souterraines des îles de Dionewar et. Niodior). Rapp. Technique UNESCO/EPEE p 81-86.

GIEC., (2007). *Le quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Bilan 2007 des changements climatiques: Les éléments des sciences physiques.* (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. Miller Tignor et HL, éditeurs). Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport

d'évaluation du Groupe intergouvernemental sur les changements climatiques. Cambridge University Press, 944pp

GIEC., quatrième rapport, Résumé destiné aux décideurs sur le site du GIEC : Changements climatiques (2007) Rapport de synthèse [archive], p.3 et p.5.

GIEC (2007a) : Résumé à l'intention des décideurs. Genève, Organisation météorologique mondiale, 22 pages. [En ligne]. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm-fr.pdf> (Page consultée le 5 février 2009).

GIEC (2007b) : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail, I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Equipe de rédaction principale, Pachauri R. K. et Reisinger A.]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.

GIEC., « rapport 2007 du GIEC [archive] », 2007. Consulté le 2008-08-08, p.48 Synthesis Report [archive], 2007, GIEC Climate Change 2007: the AR4 Synthesis Report, p8

GIFFARD P L., (1974) L'arbre dans le paysage sénégalais ; sylviculture en zone tropicale sèche. Dakar Edit C.T.F.I. 431p

GNINGUE, I., (1991), Variations spatio-temporelles des facteurs physico-chimiques dans l'estuaire du Saloum : 53-65, Dakar, UNESCO, Division des Sciences de la Mer, Rapport final, ROSTA, *Etude des estuaires du Sénégal : Sénégal, Saloum et Casamance*.

GREGORY S., 1982. Spatial patterns of Sahelian annual rainfall, 1961-1980. Arch. Met. Geoph. Biokl., sér. B, 31, 273-286,

GREP. ; (2012), *Mangrove du Delta du Saloum, un écosystème à restaurer*, in *Les Cahiers du GREP n°6*, juin 2012, 16 pages.

GUIRAL D (1999) Structuration fonctionnelle des écosystèmes de mangroves et spécificités des rivières du sud, ORSTOM-Montpellier : mangrove écosystème fonctionnement adaptation,

GUIRAL DANIEL ET AL., (1999) les sols de mangrove des Rivières du Sud in Rivières du Sud : Sociétés et mangroves ouest-africaines. Volume 1 Éditions de l'IRD (EX-ORSTOM) Paris, 1999.

GUEYE S., (Juin 2000): *Etude sur les ressources forestières et les plantations forestières du Sénégal Période : 1992- 99 PROJET GCP/INT/679/EC*

HEBRARD, L., (1972), Un épisode quaternaire en Mauritanie (Afrique Occidentale) à la fin de Nouakchottien : le Tafolien 4000-2000 ans avant le présent, *Bull. Liaison ASEQUA*, 33, 34 : 5-15.

HAUHOUOT, C., ROBIN, M. et MIOSSEC, A. (1987). « Cinématique du littoral de

Grand-Lahou (Côte d'Ivoire) à l'aide d'un SIG » : 269-276, in *Iles et littoraux tropicaux*-Brest, Ouest édition.

HEQUETTE A., (2001). Courants et transports sédimentaires dans la zone littorale le rôle des courants orbitaux et de downwelling. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2001, n° 1, p. 5-16

HOOGHMSTRA, H., AGWU, C.O.C. & BEUG, H.J., (1986) Pollen and spore distribution in recent marine sediments: A record of NW-African seasonal wind patterns and vegetation belts. *Bericht über die METEOR-Fahrt 6-5 Dakar-Libreville 15.1-16.2.1988*: 87-135

HOOGHMSTRA H; BECHLER A; & BEUG, H.-J., (1987) Isopollen maps for 18,000 yr. BP of the Atlantic offshore of northwest Africa: evidence for paleo-wind circulation. *Paleoceanography* 2: 561-582

HOOGHMSTA H (1988) palynological records from northwest African marine sediments; a general outline of the interpretation of the pollen signal. *Phil Trans R Soc. Lond* 318 431-449

HOOGHMSTRA H, STALLING H., AGWU C.O.C. & DUPONT L.M., (1992) Vegetational and climatic changes at the northern fringe of the Sahara 250,000-5,000 years

HOUEDAKOR, K.Z.SALL, MAMADOU M.SOW, AMADOU A., (1999) Dynamique de la pluviométrie dans la réserve de la biosphère du delta du Saloum et impacts sur les activités socio-économiques.

IBE A.C., QUELENNEC R.E. (1989) *Methodology for assessment and control of coastal erosion in West and Central Africa*. UNEP Regional Seas Reports and Studies n°107, 107 p.

ISME-ITTO-COMAR, (1992). Project PD114/90 (F), Version Française du Rapport sur l'Afrique, 2, 267 p.

JAKEL D., (1979). Run off and fluvial formation processes in the Tibesti Mountain as indicators of climatic history in the central Sahara during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeoecology of Africa* 11: 13- 44

JICA (2002). ; Rapport annuel ; *manuel de gestion des ressources halieutiques dans la Petite Côte et le Delta du Saloum*.

JICA et JAFTA, (2004), *Étude pour une gestion durable de la mangrove de la Petite Côte et du Delta du Saloum de la République du Sénégal – Projet pilote et production de plants d'Avicennia / Essai de plantation* – Projet de rapport final, 65 p

JUNG G., (1987). Influence de l'*Acacia albida* sur la biologie des sols Dior, ORSTOM, Dakar, ronéo.

KALCK Y., (1978) - *Evolution des zones à mangroves du Sénégal au Quaternaire récent*. Etudes géologiques et géochimiques, Thèse de 3ème cycle en géologie, Univ. Louis Pasteur de Strasbourg, 121 p., 28 fig., 10 tabl. 13 ann.

KALCK Y et AL (1979). Evolution du golfe de Casamance au Quaternaire récent et changements de la végétation et des sols de mangroves liés à la sécheresse actuelle. ORSTOM - U.L.P. - Institut de Géologie à Strasbourg.

KALY. J.L., (1991). Problématique du reboisement dans une communauté rurale : le cas de Fimela, Mémoire de Maîtrise géographie UCAD.

KALY J.L., (2001), Contribution à l'étude de l'écosystème de mangrove de la Petite Côte et essai de reboisement. Thèse de doctorat de 3^{ième} cycle, UCAD-208 pages.

KEITA M S (2010).; La dégradation des formations végétales et les stratégies des populations dans la partie sud du Sénégal. Cas de la Communauté rurale de Kéréwane. UCAD. 248 pages.

KHOUMA MAMADOU., (2001). Dégradation des sols causes et remèdes. Atelier de réflexion sur la dégradation des sols au Sénégal. Association Sénégalaise de la Science du Sol (ASSS), novembre 2001, ISRA.

KHOUMA MAMADOU (2005) ISRA CNRA., de Bambey Les grands types de sols du Sénégal. Description des sols dominants

KOFFI K P., (1992), « Quelques aspects de l'érosion actuelle de l'unité littorale de Côte-d'Ivoire (Golfe de Guinée) » : 299-306, Paris, ORSTOM, Colloques et Séminaires.

KOKO ZEBETO HOUEDAKOR., (1999) : Dynamique de la pluviométrie dans la réserve de la biosphère du delta du Saloum et impacts sur les activités socio-économiques. Mémoire de D E A université de Dakar 1998-1999 62 pages

KOROLEFF S., (1999) : *Suivi par télédétection de la dynamique du trait de côte de la flèche de Sangomar (Embouchure du Saloum, Sénégal) à partir d'une chronique d'images SPOT : 1986 –1997* ; Mémoire de D.E.A., Université de Paris I, 120 p.

KRISTENSEN, E., BOUILLON, S., DITTMAR. T., MARCHAND, C., (2008). Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. Aquatic botany, 89, 201-219.

KRUMBEIN W.C., (1934). Size Frequency distributions of sediments. J. Sedim. Petrol. Vol. 4, pp. 65-77.

KRUMBEIN W.C., (1936). Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments. J. Sedim. Petrol, Vol. 6, pp. 35-47.

KRUMBEIN W.C., (1936). *The use of quartile measures in describing and comparing sediments. Am. J. Science, Vol. 6, pp. 98-111.*

- KRUMBEIN N.C PETTIJOHN F.J., (1938). - Manual of Sedimentary Petrography, Appieton Century-Crofts, Inc., New York. XIV, 549 p.
- KRUMBEIN W.C., (1941a.) *Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles...* J. Sedim. Petrol, Vol. 11, pp. 64-72.- page 270 –
- KRUMBEIN W.C., (1941b). *The effect of abrasion on the size, shape and roundness of rock fragments.* J. Geol, Vol. 49, pp. 482-519
- KRUMBEIN W.C., SLOSS L.L., (1963). Stratigraphy and Sedimentation. 2nd ed., James
- KRUMBEIN W. C. & PETTIJOHN F. J., (1985), *Manual of Sedimentary Petrography*, Society for Sedimentary Geology, Tulsa (Okla.), repr of 1938, 1988 *Progrès dans les méthodes d'étude des Sédiments et des roches*, Centre de géomorphologie, Caen,
- L'HOMME F., (1974) ; Observations hydrologiques effectuées sur le Sine-Saloum dans le cadre du programme crevettes de 1967 à 1974 1974/10
- LAPPARTIENT J.R., (1978) - Le Continental Terminal du Rip (Sénégal): une formation marine néogène continentalisée. Proceedings of the 2nd Working conference, Project n° 127 (LUGS EGCP), vol.5, Ahmadu Bello Univ. Dépt. Géol. Publ., 7, 5 p.
- LE ROUX M., (1983) : Le climat de l'Afrique tropicale .Tome 1, 633 p .350 fig. .Edition H .Champion, Paris, Genève.
- LE ROUX M., (1986) : Une nouvelle méthode des cartes météorologiques en Afrique tropicale .Proc .Symposium Tropical Meteorology .International School of Meteorology of the mediterranean, Roma, OMM, Geneva.
- LE ROUX M., (1994) Interprétation météorologique des changements climatiques observés en Afrique depuis 18000 ans Royal Academy of Overseas Science: 99-14
- LE ROUX M., (2000), 2^e éd, la dynamique du temps et du climat, Paris, Dunod, 367 P.
- LE BISSONNAIS Y. ET AL. (2002) : L'érosion hydrique des sols en France, IFEN, Orléans, 106p.
- LE BORGNE, J., (1988) La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. 94 pages.
- LE BORGNE J., (1996) La dégradation actuelle du climat entre Sahara et équateur. Presses universitaires de Dakar, Sénégal.
- LE BRUSQ (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.
- LE FUR A., (1950) : *Mission hydrographique de la côte Ouest Africaine. Lèves de l'entrée du Saloum du 13 juin au 22 juillet 1950.* Paris, Ann. Hydr ; T II p.124-139.

LE FUR A., (1954) *Mission hydrographique de la côte ouest d'Afrique (11 mai 1950-18 mai 1952). Annales Hydrographiques. 4e série, tome quatrième, année 1953, Service hydrographique de la Marine, Paris, p. 117 192.*

LE PRIOL J et DIENG B., (1985)- Synthèse hydrogéologique du Sénégal 1984-1985, Rap. Synthèses, Dir. Gén. Hydraul, DEH, 01-85-MH, 77 p.

LEBIGRE J.M., (1983).- *Le littoral du Gabon : aspects géomorphologiques et biogéographiques.* Libreville, Institut Pédagogique National, 58 p.

LEBIGRE J.M., (1994).- *Analyse des effets prévisibles d'une élévation du niveau marin sur les marais maritimes à mangrove des DOM-TOM. In : "Elévation du niveau de la mer le long des côtes de France : mesures - impacts - Réponses". Ministère de l'Environnement, Séminaire Eaux-Environnement, n° 4, 171-187.*

LEZINE A.M., (1986) : « Environnement et paléo environnement des Niayes depuis 12 000 ans BP » ; in *Symposium international : Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé- Présent- Futur, Dakar, 21-28 septembre 1985, INQUA – ASEQUA - ORSTOM*, pp. 261-263

LEZINE A.M., (1987) *Paléoenvironnements végétaux d'Afrique nord-tropicale depuis 12 000 ans BP* Thèse, Université Aix-Marseille II LEZINE A.M., 1989 *a Late Quaternary vegetation and climate of the Sahel* *Quaternary Research*, 32: 317-334

LIVINGSTONE D. A., (1975) – *Late quaternary climatic change in Africa. Ann. REV. Eco. Sys. G: 249 – 280.*

LOYER J.Y., BOIVIN P., LE BRUSQ J.Y, ZANTE P., (1985) : *Les sols du domaine fluviomarin de Casamance (Sénégal): Evolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Dakar, Sénégal*

LUBES H ET AL. (1995) *Essais de mise en évidence d'une variation climatique par application de tests statistiques à des séries chronologiques de débit, Application aux grands fleuves de Côte d'Ivoire. In: Méthodes Statistiques et Bayésiennes en Hydrologie (Proc. Int. Conf. In honour of Bernier, Paris, September 1995). UNESCO, Paris.*

MACNAE, W. (1968). *A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West-Pacific region. Adv. Mar. Biol. 6: 73- 270.*

MAGE E., (1863). *Les rivières du Sine et du Saloum. Revue maritime et coloniale* T 7 Paris pp 673- 679

MAINGUET M., (1977) – *Analyse quantitative de l'extrémité Sahélienne du courant éolien transporteur de sable au Sahara nigérien. C. R. Acad. Sc., Sér. D, 285: 1029 – 1032.*

MAINGUET M., (1995) : L'homme et la sécheresse. Masson, Paris, collection Géographie 336p

MALEY J., (1980) – Les changements climatiques de la fin du tertiaire en Afrique : leur conséquence sur l'apparition du Sahara et de sa végétation. « In The Sahara and the Nile ». Williams M. A, et Faure H. Ed, Balkema, Rotterdam, p. 63 – 86.

MALEY J., (1981). Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30.000 ans à l'époque actuelle. Travaux & Documents ORSTOM 129, 586 p.

MALOU R. et *al.* (1991) : Recharge pluviale de l'aquifère superficiel de la vallée de Baïla (Basse Casamance) in Hydrogéologie, n° 2, pp. 107- 116.

MANGA ABEL VINCENT (2012). ; Variabilité Pluviométrique et Estimation des Ecoulements dans le Bassin Versant du Sine-Saloum (Sénégal) : Mémoire de Master II Faculté des lettres et sciences humaines, département de géographie, UCAD 97pages
MARCHAND, C., (2003). Origine et devenir de la matière organique des sédiments de mangrove de Guyane française. Précurseurs, Environnements de dépôt, Processus de décomposition et relation avec les métaux lourds. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France, 286 p.

MARCHAND, C., LALLIER-VERGES, E., DISNARA, J.R., KERAUSA, D., (2008). Organic carbon sources and transformations in mangrove sediments: A Rock-Eval pyrolysis approach. Organic Geochemistry, 39, 408-421.

MARIUS (1972) *Végétation et écologie des mangroves*; 52pages

MARIUS (1972) *Reconnaissance préliminaire des sols de l'estuaire. Communication à la réunion des pédologues de l'ORSTOM, Dakar*

MARIUS C., (1974). - Les sols de l'estuaire du Saloum. Rapport ORSTOM-Centre de Dakar-Hann, 25 p. multigr. + Annexes, Juillet.

MARIUS C., (1977).- Notice explicative de la carte pédologique au 1/50000° îles du Saloum-ORSTOM, 47 p. multigr., 1carte - DAKAR. *Réserve de biosphère du delta du Saloum* 124

MARIUS C., (1979) : Effets de la sécheresse sur l'évolution phytogéographique et pédologique de la mangrove en basse Casamance. Bulletin de l'I.F.A.N., T. 4, sér. A, n°4, pp.669-691.

MARIUS C., (1979), Les mangroves du Sénégal : Ecologie – pédologie – utilisation, Dakar, ORSTOM, 73 p.

- MARIUS, C. & LUCAS, J. (1982). Evolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance). In: *Oceanologica Acta*, 4, suppl. (n° spécial), 151-160. Notes: Actes du Symposium International sur les lagunes côtières, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, 8-14 sept. 1981
- MARIUS, C., (1995). Effets de la sécheresse sur l'évolution des mangroves du Sénégal et de la Gambie. *Sécheresse*, 6, 1, 123-126.
- MARIUS C., LEPRUN J.C., PERRAUD E., (1976), -Caractéristiques de la pédogenèse durant le dernier millénaire sur les amas coquilliers des îles du Saloum (Sénégal). *Ass. Sénégal Et. Quatern. Afr. Bull.*, liaison, Sénégal, 49: 13-25, 1 figure, 4 tables
- MARTIN. V & BECKER. C, (1979). Lieux de culte et emplacement célèbres dans les pays séreer (Sénégal), in *Bull IFAN*, Dakar, Tome 41 séries B, n°1 pp 133-189.
- MASSE J P., (1968). *Contribution à l'étude des sédiments actuels du plateau continental de la région de Dakar. Essai d'analyse de la sédimentation biogène lab. géol. fac sc. univers Dakar N°23 81p*
- MASSIBOT, J. A et CARLES, L., (1946) *Mise en valeur des tannes rizicultivables du Sine(Sénégal) in Agronomie tropicale, vol 1, n° 9 – 10, pp 451 – 456.*
- MATHON V, LAURENT H, LEBEL T. (2002a). Mesoscale convective system rainfall in the Sahel. *Appl. Meteorol.* 41: 1081 – 1092.
- MATHON V, DIEDHIOU A, LAURENT H. (2002b). Relationship between easterly waves and mesoscale convective systems over the Sahel. *Geophys. Res. Lett.* 29 :1216, DOI:10.1029/2001GL014371.
- MAUNY R., (1961). Tableau géographique de l'ouest africain au Moyen Age, d'après les sources écrites, la tradition et l'archéologie. *Mém Inst FR Afr Noire N°61 587p*
- MAYER E. R., ROCHE Y. et MOUAFO D., (2002) : Dictionnaire des termes géographiques contemporains, Guérin, éditeur Itée, Montréal, 343 pages.
- MCLEAN, R.F. ET AL. (2001), 'Costal Zones and Marine Ecosystems', in McCarthy, J.J. et al. (eds.), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 343-379.
- MENDY A., (2000) ; Etude hydrologique du bassin versant de la Néma et la mise en valeur de ses bas-fonds. *Mém Maît. Départ Géogr. F.L.S.H. U.C.A.D.* 112P
- MERLE J., (1978) - *Atlas hydrologique saisonnier de l'océan Atlantique intertropical. Trav Doc. ORSTOM*, 82
- MERLE J., (2006) océan et climat. Edit IRD. Paris, 222 P

MESSERLI, B. (1973) Problems of vertical and horizontal arrangement in the high mountains of the extreme arid zone (central Sahara). *Arct. Alp. Res.* 5, 139-147.

MICHEL P., (1959). - L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute Gambie. Ses rapports avec la prospection minière. *Rev. Géomorpho. Dyn.*, X, nos 5-12, pp. 117-143.

MICHEL. P., (1980) : Sols ferrugineux in Atlas du Niger ; Paris 1980 ; pp 18-19

MICHEL. P., (1998) : La dégradation des paysages au Sénégal, in La dégradation des paysages en Afrique de l'ouest, séminaire de Dakar (21- 26 novembre), pp. 37- 53.

MICHEL P., ELOUARD P., FAURE H., (1969), Nouvelle chronologie des dépôts du Quaternaire de la région de Saint-Louis (Sénégal), *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire (A)*, 31, p. 231-234.

MICHEL P, SALL MM., (1984) ; Dynamique des paysages et aménagement de la vallée alluviale du Sénégal. In *mémoires ORSTOM*. 106 : 89 -109

MICHEL P, BARUSSEAU JP, RICHARD J F, SALL MM., (1989 - 1992) L'après barrage dans la vallée du Sénégal. Résultats des travaux du projet Campus (Ministère de la coopération). Press Univ de Perpignan.

MIETTON M., (1998) Les processus élémentaire d'érosion hydrique à l'échelle du versant. In « L'érosion entre nature et société » Dossier des Images Économiques du Monde, Collection dirigée par André Gamblin. Ed. SEDES – 1998.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE., (1993) : cellule GRN, note technique relative à la participation et à la responsabilisation des populations rurales dans les actions de développement, Niger ; 28p.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE., (1997) : gestion durable des ressources naturelles, leçons tirées du savoir de paysans de l'Ader ; 142p

MINISTERE DEL'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE., (1997b) plan d'action pour l'environnement. Région de Saint-Louis. Dakar, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature. Secrétariat du conseil supérieur des Ressources Naturelles et l'Environnement.

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE. DEFCCS., (Mai 1999), Code Forestier 41 pages

MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE (1994) ; bilan de la situation actuelle. Dakar ; 36p

MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE (1995) Répertoire des localités et points d'eau du Sénégal. Tome 1 et 2. Dakar, 58 + 76 p.

MINOT A., (1933-1937) Rapport Minot. Série de rapports avec plusieurs levés et planches cartographiques. Ed travaux publics.

MINOT A., (1934) : « Rapport Minot ».Série de rapports avec plusieurs levés et planches cartographiques. Multi pagination

MITTELSTAEDT. (1983). the upwelling area of northwest Africa a description of phenomena related to coastal upwelling. Prog Oceanogr. Oxford 12, 307- 331, 17fig.

MONTEILLET J., (1986) - Evolution quaternaire d'un écosystème fluviomarin tropical de marge passive: environnements sédimentaires et paléoécologie du delta et de la basse vallée du Sénégal depuis environ 100000 Clns. Thèse doc d'Etat, Perpignan, 264 p., 143 l. 2 ann.

MOREAU, N., (2004), Mise en évidence et cartographie de l'évolution des forêts de mangrove dans les Iles du Saloum au cours des trois dernières décennies (1972 à 2001), Photo-interprétation, n° 2004/4, pp. 23-55.

MOREL R., (1992) : *Atlas agro climatique des pays de la zone du CILSS* ; AGRHYMET, Niamey, 3550 p.

MOREL R., (1995), "La sécheresse en Afrique de l'Ouest", *Revue de Géographie de Lyon*, 70, 215-222.

MOREL R., (1998), "Début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest", in Demaree G., Alexandre J., De Dapper M. (eds.), *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*, Brussels, Royal Meteorological Institute of Belgium and Royal Academy of Overseas Sciences, 200-211.

MUNK W. H., (1950) on the wind-driven ocean circulation. J. meteorol. 7:79-93.

NARDARI B., (1993). *Analyse de la houle sur les côtes du Sénégal : application à la pointe de Sangomar* ; rapport de stage UTIS/ ISRA/ORSTOM Dakar 31p 21fig 5 Ann

NDIAYE LALA. ; (2012), *Sénégal: La mangrove du delta du Saloum, un bijou entre terre et mer*, article publié sur www.slateafrique.com et mise à jour le 12 juillet 2012, consultée le 18 décembre 2012.

NDIAYE H.G., (1992) : Cinématique de la flèche littorale de Sangomar. Estuaire du Saloum. Rapport. ORSTOM, pp 25-34 ,6fig .

NDIONGUE B M., (2001). Etude de la filière de commercialisation du bois de chauffe de mangrove provenant de la R.B.D.S. Mém maîtrise FLSH/UCAD Départ Géogr 90p

NDONG A., (2005). Problématique de la conservation des terres dans la Communauté Rurale de Djilass. Mémoire de maîtrise FLSH/géogr. UCAD 143p

NDONG, J B., (1996).L'évolution du climat au Sénégal et les conséquences de la sécheresse récente sur l'environnement .Thèse de doctorat, Université Jean-Moulin Lyon III ; 51Op

NDONG J B., (1999). Etude du climat au Sénégal Oriental et en Haute Casamance .Programme Sénégal Oriental, 131p

NDOUR A., (2011) ; les impacts de la dégradation des sols la Communauté Rurale de Keur Mboucki, mémoire de maîtrise de géographie, FLSH/UCAD 2011, 110p

NDOUR B., (1994), Evaluation des potentialités agroforesteries des terres salées du Sine-Saloum, Mémoire de DEA, Science de l'Environnement, UCAD

NDOUR N., (2005). Caractérisation et étude de la dynamique des peuplements de mangrove de la réserve de biosphère du Delta du Saloum (Sénégal). Thèse de doctorat de troisième cycle. Institut des Sciences de l'Environnement (ISE).170 pages.

NDOUR THIerno., (2001). La dégradation des sols au Sénégal : l'exemple de deux communautés rurales (Kaymor et Montrolland). Thèse de Doctorat de 3^{ième} Cycle, Dép. Géogr. UCAD, 399p.

NDOYE S., (2003). Comportement hydrodynamique et hydro chimique de la nappe côtière du Continental Terminal du Saloum. Thèse de 3^{ième} cycle Géol. fac sc. UCAD

NIANG DIOP I., (1994) : Les problèmes environnementaux de la côte du Sénégal .Eco décision, Montréal 11 .p 44-43.

NIANG DIOP I., (1995) : L'érosion côtière sur la petite côte du Sénégal. A partir de l'exemple de Rufisque Passé-Présent-Futur. Thèse doctorat d'Etat en géologie. Université d'Angers.

NIANG, A., SARR K.,. (1996). La "Désertification". Etude thématique (Processus d'élaboration du Plan national d'action pour l'environnement) Secrétariat Permanent du Conseil Supérieur des Ressources Naturelles et de l'Environnement (CONSERE) :). Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, République du Sénégal, 54p.

NIANG I. ET AL., (1998), « *Etude de vulnérabilité des zones côtières sénégalaises aux changements climatiques : le cas des pays africains côtiers* », *Bull. Africains*, No.10, Dakar, 25-37.

NICKERSON, N. H. & THIBODEAU, F. R. (1985) Association between porewater sulfide concentrations and the distribution of mangroves. *Biogeochemistry* **1**, 183–192.

NIEDOROB A W et AL., (1985) Barrier island evolution middle Atlantic shelf USA part II. Evidence from the shelf floor. *Marine geology*, 63 363 -396

PAFR (2004) plan d'action forestier régional de la région de Thiès, 72 p

NOIROT E., (1892) - Notice sur le Saloum, *Journal Officiel du Sénégal*: 41 1-414

NONN H., (1974). Géographie des littoraux, coll. SUP le géographe. Presse universitaires de France.2^o éd 255p

OLIVRY J.C, CHOURET A., (1981). Étude hydrologique du marigot de Bignona Quelques aspects intéressants des mesures réalisées en 1970-1971. ORSTOM, Dakar, 53 p.

OTTMANN F., (1965) - Introduction à la géologie marine et littorale. Ed. Masson, 259 p.

PAFS (1993)-Volume III. Fiche de Projets. -Dakar: Ministère du Développement rural de l'Hydraulique.

PAGERNA, (2003). Capitalisation des acquis du PAGERNA dans le domaine de la réhabilitation du couvert végétal et de l'habitat de la faune sauvage. Kaolack, 29 pages.

PAGES J. and CITEAU J., (1990). - Rainfall and salinity of a Sahelian estuary between 1927 and 1987. In: Journal of Hydrology, (113), 325-341.

PAGNEY P., (1986), Etudes de climatologie tropicale, Paris, Masson, 204p.

PELLISIER. P., (1966) : Les Paysans du Sénégal : les civilisations agraires du Cayor à la Casamance, Saint Yrieux, 939 pages.

PAPIL (2011). ; Volet suivi environnement : Rapport de suivi de la qualité des sols ; 11 p.

PELISSIER P., (1967) : Une civilisation ouest africaine : Les Diola de la Basse- Casamance, Acta Geographica, avril-juin 1967, no67 :3-6.

PELNARD-CONSIDERE., (1959) : Amélioration des embouchures du Saloum et de la Casamance. Paris, BCEOM, service Ports et ouvrages d'art, 33p ; 20 fig.

PENNOBER G (1999). ; – Analyse spatiale de l'environnement côtier de l'archipel des Bijagos (Guinée-Bissau), Thèse de doctorat de géographie, Université de Bretagne Occidentale, 192 p.

PETIT M., (1990), Géographie physique tropicale : Approche aux études du milieu, morphologie, paysages, Edition Karthala et ACCT, 344 p.

PIERI C., (1976). L'acidification des terres de cultures exondées au Sénégal. *Agron. Trop.*, 31,4: 339-368.

PIMMEL A., (1984) Contribution à l'étude sédimentologique des mangroves de Casamance (Sénégal). Étude granulométrique et exoscopique. Thèse 3e cycle, univ. L. Pasteur, multigr., Strasbourg, 132 p. + annexes.

PIRAZZOLI, P.A. (1996a); Sea-level changes: the last 20 000 years; Chichester; John Wiley 211 p.

PIRAZZOLI, P.A. (1996b); Etat de la mer et niveaux marins. Bull Assoc Géogr France ; N°4 283-290.

PLAUD, M. (1967). Les lentilles d'eau douce des îles du Saloum. (pp. 83 multigr, fig., tabl. annexe. et carte au 1-50. 000). Dakar: BRGM.

POR, F. D., AND I. DOR (1984). Hydrobiology of the mangal-The ecosystem of the mangrove forests. Develop. Hydrobiol. 20. Dr. W. Junk, Publishers, the Hague. 264 p

RALPH MERCIER DEGUE-NAMBONA., (2008)- UCAD/DEA Sciences de l'Environnement : Contribution des reboisements de mangrove du delta du Saloum (Sénégal) à la séquestration de carbone atmosphérique: cas des villages Djirnda et Sangako.

REBERT., (1982-1983). Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais.

Doc Scient CRODT/ISRA. Dakar 89, 99p 47fig.

REBERT, J.P., ET PRIVE, M., (1974). Observations de courant au voisinage du Cap-Vert. Note sur les courants de marée. Doc. CRODT, Arch. 3.

ROBERT, M., (1996) Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Édition Masson, 244p.

ROCHE, M., RODIER, J., SIRCULON, J. (1975). Les aspects hydrologiques des sécheresses récentes en Afrique de l'Ouest. Hydrological sciences-Bulletin des Sciences Hydrologiques. XXI. 2/1976

ROCHETTE C., (1974) Le bassin du Fleuve Sénégal. Monographies hydrologiques ORSTOM Paris.

ROOSE E. (1971). *Influences des modifications du milieu naturel sur l'érosion, le ruissellement, le bilan hydrique et chimique, suite à la mise en culture sous climat tropical Côte d'Ivoire et Haute-Volta*. Rapport ORSTOM, Abidjan, 22 p.

ROOSE E., (1985a) : Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux, in *Machinisme Agricole Tropical*, n° 87 pp. 24- 36.

ROOSE E., (1985b) : Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical : conséquences sur les méthodes antiérosives, in *Machinisme Agricole Tropical*, n° 87, l'Erosion en zone tropicale, Réunion technique 55^{ème} SIMA, 18 pages.

ROOSE E., (1985c) : Dégradation des terres et développement en Afrique de l'ouest, in *Bull. Rech. Agron.*, Gembloux, 20, 3/ 4, pp. 505- 537.

ROSSIGNOL M., (1969) Sédimentation palynologique dans le domaine marin quaternaire de Palestine : Etude de paléoenvironnement. Notes .et Mém. Moyen. Orient .n°10,272p

ROSSIGNOL M. (1973).- Contribution à l'étude du complexe guinéen. Document du Centre ORSTOM de Cayenne.

ROSSIGNOL M. et MEYRUEIS. ; (1962) Etude des masses d'eau et de la circulation dans l'Atlantique Oriental (Région comprise entre les îles du cap vert et la côte du Sénégal et de la Guinée. Campagne océanographique du Gérard-Treca. 17 p.

ROSSIGNOL M., MEYRUEIS A.M., (1964).- Etude des masses d'eau et de la circulation dans l'Atlantique entre les Iles du Cap-Vert, la Côte du Sénégal et de la Guinée. Rapp. ORSTOM, Dakar, 91 p. multigr., 27 fig., 8 cartes + bibliogr.

ROY C, (1989); fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes sénégalaises. *Oceanologica Acta*; vol 12, 4 361-369

SADIO.SIAKA., (1986) – Etude des sols sulfatés acides de l'îlot de Ngane (Sine Saloum), ORSTOM/Dakar, 70p

SADIO S., (1986), Etude pédologique des facteurs de mortalité des essences forestières introduites en milieux salés du Sénégal, Dakar, ORSTOM-CRDO, 34 p.

SADIO S., (1991), Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum, Sénégal, Dakar, ORSTOM-CRDO, 283 p.

SAFFACHE P. (2008). Les ressources naturelles des îles tropicales et l'importance d'un développement durable, p. 454-482. In: Wackermann G. (coord.). 2008. Le développement durable. Paris : Éditions Ellipses, (collection : Carrefours, Les Dossiers), 496 p.

SAFFACHE P. (2008). *Les départements et territoires d'outre-mer : entre dégradations et inefficience des politiques côtières d'aménagement*, p. 246-259. In : Wackermann G. (dir.). 2008. La France : aménager les territoires. Paris : Éditions Ellipses, Collection CAPES/Agrégation, 280 p.

SAFFACHE P. (2008). *Les Antilles françaises, des environnements dégradés : l'exemple de Marie-Galante*, p.270-274. In : Wackermann G. (dir.). 2008. La France : aménager les territoires. Paris : Éditions Ellipses, Collection CAPES/Agrégation, 280 p.

SAFFACHE P. (2008). Le littoral martiniquais : entre contraintes physiques et aménagements de protection, *Géologues*, 158, p. 105-109.

SAGNA P., (1988): Etude des lignes de grains en Afrique de l'Ouest .Thèse de doctorat de 3^e Cycle, Université C.A. Diop, Tome1 ,291 pages, Tome 2 ,241 pages.

SAGNA P., (1990) : Précipitations exceptionnelles à Dakar du 23 au 26 Août 1989. Analyse de la situation météorologique .Veille climatique satellitaire, n° 30 et 31, ORSTOM /CMS, Lannion, pp .55-65.

SAGNA P., (1991) : Apport pluviométrique des lignes de grains au Sénégal de 1961 à 1985.Publication de l'Association Internationale de Climatologie, vol .3, pp .279-287.

SAGNA P., (1992) : Dynamique des précipitations Soudano-sahéliennes : application à la pluviométrie au Sénégal de 1983 à 1990. Publications de l'Association Internationale de climatologie, vol .4, pp .229-236.

SAGNA P., (1993) : Etude des saisons des pluies 1989 et 1990 au Sénégal .Veille satellitaire, n°44,

SAGNA, P., (2000), le climat in : Atlas su Sénégal, les éditions Jeune Afrique, PP 19-19.

SAGNA P., (2005), « Dynamisme du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique Occidentale », Dakar, UCAD, Tome 1, 272-318.

SAGNA P., (2006) : Le climat et sa dynamique sur le littoral et les îles de l'ouest de l'Afrique occidentale, Thèse de Doctorat d'Etat, UCAD, FLSH, Dép. Géo.

SAGNA.P., (2008) : Dynamique de l'atmosphère tropicale, cour de climatologie tropicale de licence, 128p.

SAKHO I (2011). ; Évolution et fonctionnement hydrosédimentaire de la lagune de la Somone, petite côte, Sénégal soutenue publiquement le 16 septembre 2011 à l'université de Rouen 251pages. Discipline : géologie, Spécialité : sédimentologie côtière.

SALL MM., (1971), Morphogénèse et dynamique actuelles : Contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal occidental ; thèse de 3^{ème} cycle .Dakar 290P.

SALL M.M., (1982). Dynamique et morphogénèse actuelles au Sénégal Occidental. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Strasbourg I, 2 tomes, 604 P + Fasc. planches h.t.

SALL MM., (1986) Dynamique et morphogénèse au Sénégal occidental. Doctorat d'Etat -es lettres ; Université Louis Pasteur. Strasbourg I 604 p.

SALL MM., (1990) : *Téledétection de quelques écosystèmes littoraux, Dakar, Université de Dakar, Fac des lettres, Rapport n°2.*

SALL MM et DIOP El H S., (1975) ; *Le Gandoul et les îles Bétenti ; ASEQUA N° 44 -45 Dakar*

SALL MM et DIOP El H S., (1976) ; Géomorphologie et évolution des lignes de rivage holocène dans les îles du Saloum ASEQUA Afrique N°50 Dakar.

SALL.M, DIOP E S., (1979) – *Le bas plateau du Continental Terminal du bas Saloum (Sénégal). Observations et résultats d'analyse sédimentologique et minéralogique, Ann Fac Lettres et sciences humaines, n°9, pp325-341, 6fig*

SALL MM et DIOP El H S., (1980) ; Le plateau continental du bas Saloum (Sénégal) ; observation et résultats d'analyses sédimentologiques. Ann fac lettres et sc. hum N°10.

SALL MM, FAURE H, BARBEY C, BARUSSEAU JP, DIOP EL H S, HEBRARD L., (1983) Evolution du milieu sur les marges du littoral africain au Quaternaire supérieur.

SANE T., (2003) : La variabilité climatique et ses conséquences sur l'environnement et les activités humaines en Haute Casamance, thèse de Doctorat de 3^e cycle, UCAD, FLSH, Dép. de Géographie, 367 pages.

SAOS ET PAGES., (1985) Le milieu physique: mesures hydrologiques dans le Saloum. L'estuaire et la mangrove du Sine Saloum, Résultats d'un atelier régional UNESCO-COMAR, *Rapport UNESCO, Division des Sciences de la Mer*, 32 : 7-14

SAOS J.-L. et Al., (1987) : Aspects géologiques et géomorphologiques de la Casamance : Etude de la sédimentation actuelle, in *Revue hydro biologique tropicale*, 20 (3- 4), pp. 219-232.

SAOSJ.-L et THIEBAUX J.-P., (1991) : *Evolution de la salinité en Basse Casamance : exemple du marigot de Baïla*, in *Etude des estuaires du Sénégal, Saloum, Casamance, Rapport final de l'EPEEC, Dakar*, pp. 67- 74.

SAOS J L JEAN P., (1993) ; Mesures hydrologiques dans le Saloum ; l'estuaire et la mangrove du Sine Saloum D.D.C.O. S.A.O.

SAOS et AL., (1993) - Evolution hydrosédimentaire des estuaires sénégalais: l'exemple du Saloum, Réunion Internationale PICG 274, Evolution Côtière au Quaternaire.

SARR, A., (1990). Contribution à l'étude écologique et socio-économique de la mangrove du Sine- Saloum (Sénégal). Mémoire de fin d'étude des Eaux et Forêts et Chasse, Université de Dschang, Institut National de Développement Rural, 90 p.

SARR, A., (1994) Évaluation de potentialités agro forestières des terres salées du bassin du Sine-Saloum, mémoire DEA.

SARR J., (1998), La problématique de la réhabilitation des écosystèmes de mangrove par le reboisement dans l'île de Mar, Mémoire de DEA, Chaire UNESCO, UCAD, 48 p.

SARR. M.A.M., (1999). Fragilisation du milieu et stratégies de préservation : Etude de cas sur les impacts potentiels de la réhabilitation des tannes de la vallée Diofior-Simal-Rho, Mémoire de Maîtrise, UGB

SARR, M. A. M., (2000). Dynamique de la mangrove et gestion des ressources de l'environnement dans l'île de Djirnda (îles du Saloum). Dakar : UCAD-UNESCO, DEA de la chaire UNESCO « gestion intégrée et développement durable des régions côtières et des petites îles », 60 p.

SARR R. (1982)- Etude géologique et hydrogéologique de la région de Joal - Fadiouth (Sénégal). *Thèse 3^{ème} cycle*, Univ. C. A. Diop, Dakar, 191 p.

SARNTHEIM M., (1978), Sand deserts during glacial maximum and climatic optimum: *Nature*, vol. 272, no. 5648, p. 43-46, 2 figs.

- SARNTHEIM M et AL., (1981), Glacial and interglacial wind regimes over the eastern subtropical Atlantic and North West Africa. *Nature*, -London. 5829, 193-196.
- SARNTHEIN, M., ERLLENKEUZER, M., ZAHN, R., 1982. Termination 1: the response of continental climate in the subtropics as recorded in Deep sea sediments. *Actes Coll. int. CNRS, Bordeaux, Bull. IGBA*, 31, 393-407.
- SASSON A., 1986. *Nourrir demain les hommes*. UNESCO, Sextant, 767 p.
- SCHNEIDER J L (1989). Géologie et hydrogéologie de la République du Tchad. Thèse, université d'Avignon et des pays de Vaucluse. Trois volumes plus carte du Tchad 738p
- SCHNELL R., (1970/1971).- Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux, vol. 1. Les flores. Les structures, vol. 2. Les milieux. Les groupements végétaux - publiés par Gauthier-Villars, pp. 799-841 et pp. 894 - paru à Paris.
- SIRCOULON J (1983). Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'ouest depuis le début du 20ième siècle, *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* p. 13.
- SIRCOULON J., (1985) ; La sécheresse en Afrique de l'ouest, comparaison des années 1982, 1984, et 1972- 1973 Cahiers ORSTOM Sér hydrol Paris, XIII, P 75 -86
- SIRCOULON J., (1989) Effets des sécheresses sur l'hydrologie de surface. *La Houille Blanche*, 7-8,505-516.
- SIRCOULON J., (1992) Caractéristiques des ressources en eau de surface en zones arides de l'Afrique de l'ouest. Variabilité et évolution actuelle. *In l'aridité une contrainte au développement*. P 53- 66
- SIRCOULON J. (1992) *Evolution des climats et des ressources en eau*, in « *L'environnement en Afrique* » (Afrique contemporaine, n° 161 (spécial), 1^{er} trimestre, Ed. La documentation française, pp.57-78, Paris)
- SIRCOULON J., (1998) Cinquante ans d'études hydrologiques en Afrique de l'Ouest. In *De marée*,
- SIRCOULON J, et OLIVRY J C., (1986). *Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'ouest et centrale. Conséquences sur les stations pluviométriques de longue durée et les débits des rivières. In colloque international sur la Révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse (Ouagadougou ; 20-24 mai 1986). Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), série hydrologie.*
- SOW, M. et Guiral, D., (1999), *La végétation*, pp. 80-84, in Cormier-Salem, M.-C., *Rivières du Sud*, IRD, Paris, 288 p.

SPALDING, M., BLASCO F. AND FIELD, C. (1997). *World Mangrove Atlas*, published by ISME, WCMC and ITTO, Smith Settle, UK, 173 pp.

SY B. A., (2002), Dynamique éolienne actuelle dans le delta du fleuve Sénégal (contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal septentrional), Thèse 3^e cycle, U.C.A.D, Département de Géographie, 251 p. + Carte hors texte.

SY, B. A (2004). «L'ouverture de la brèche de la Langue de Barbarie et ses conséquences, Approche géomorphologique». *Revue de Géogr. de Saint Louis (RGSL)* N°4, pp. 50-60.

SY B.A., (2006), L'ouverture de la brèche de la Langue de Barbarie et ses conséquences, Approche géomorphologique, In Recherches Africaines, Annales de la Faculté des lettres, langues, arts et sciences humaines de Bamako, N°5, disponible sur l'URL: <http://www.recherches-africaines.net>,

SY, B. A (2008). Milieux, sécheresse climatique et érosion éolienne. Etude géomorphologique du Sahel Sénégalais. Thèse d'Etat, Univ. Gaston Berger Saint Louis Sénégal, UFR de LSH, 429p

SY M., (2003) ; Problématique de la conservation des ressources naturelles et agroforesterie Dans les terroirs villageois limitrophes de la commune de Sokone : département de Foundiougne, mémoire de maitrise département de géographie.

SY MBOUGANE HARDS., (2002) : Problématique de la conservation des ressources naturelles et agroforesterie dans les terroirs villageois limitrophes de la commune de Sokone
TALBOT M.R., DELIBRIAS G., (1980). A new late Pleistocene–Holocene water-level curve for Lake Bosumtwi, Ghana. *Earth and Planetary Science Letters* 47, 336– 344.

TCHERNIA., (1978) P., 1978. Océanographie Régionale.

TESSIER F (1946) Contribution à l'étude du Lutétien du Senegal. CR. Ac. Sc. Paris, 11 fév. 1946, t. 222 pp. 400-402.

TESSIER F (1948). — Senegal. Sur l'existence d'un niveau maestrichtien au Senegal. CR. Ac. Sc. Paris, 25 fév. 1946, t. 222, pp. 505-506. In Rap. An. 1946 du S. Géol. de l'A.O.F. Dir. Mines AOF, Dakar 1948.

TESSIER F., (1950) Contribution à la stratigraphie et à la paléontologie de la partie ouest du Sénégal. Thèse sciences Marseille Bull dir mines Af occ fr N° 14 Dakar (1952) 63 fig, 8pl, 6pl photos, 2 cartes h t.

TESSIER, F., (1952). Contribution à la stratigraphie et à la paléontologie de la partie ouest du Sénégal (Crétacé et Tertiaire). Bull. Dir. Mines AOF, 14, 2T, 571 p.

- TESSIER, FLICOTEAUX, LAPPARTIENT, NAHON et TRIAT., (1975). Réforme du concept de Continental Terminal dans le bassin sédimentaire côtier de l'ouest africain. Ixième congrès internat de sédimento T1 PP 207 - 211 Nice
- THIAM MAME DEMBA, (1986) géomorphologie, évolution et sédimentologie des terrains salés du Sine-Saloum. Thèse de doctorat de troisième cycle, université Paris1 ; 188 pages
- THIAO DEMBA., (2001). Les impacts écologiques et socio-économiques de la rupture du Lagoba dans la région du Log (îles du Saloum). Mém maîtrise Dépit Géogr. FLSH/UCAD 100p
- THOMAS YF., (1974). Le courant de houle comme facteur –agent de la morpho dynamique littorale. 4ièm cong intern de la mer Dinard Saint Maln Granville 1972 Groupe1
- THOMAS YVES., (1975) Actions éoliennes en milieu littoral: la Pointe de la Coubre Laboratoire de géomorphologie E.P.H.E., 1975 - Political Science - 202 pages ...
- THOMAS Y F ET DIAW A T (1987), Typology of Lagoba. Ngooxoor's landscapes Saloum estuary. Using data from spot1 satellite A1AA.Series progress in astronautics and aeronautics 110. 423 – 432
- THOMAS Y F, DIAW A T., (1989) Cinématique de la flèche littorale de Sangomar (Sénégal). In bulletin de la société française de photogrammétrie et de télédétection N°114, colloque d'Orléans. Janvier 1989 pp 14-16, 1p fig. couleur, (P27)
- THOMAS Y-F., DIAW A.T., (1997), « Suivi (1984-1993) de la rupture de la flèche de Sangomar, Estuaire du Fleuve Saloum, Sénégal », Photo-Interprétation, No.3-4, 199-208.
- THROMEUR J Y., (1939). *Mission hydrographique du Saloum. In ann hydrogr 3ièm Série T 16 P5 - 33*
- TOMLINSON P B., (1986) the Botany of Mangroves. London: Cambridge University Press.
- Le Système d'Observation de l'océan pour le Climat, Recueil des Actes de la Conférence Internationale OCEANOBS99, volumes 1 et 2, Edition CNES, octobre 1999
- L'océan sous haute surveillance, Lettre AVISO n°7, janvier 2000
- TRICART J., (1994) Eco géographie des espaces ruraux Nathan, Paris, 187p
- TURMINE V., (2000) : La dynamique du littoral entre Mbour et Joal (Petite Côte – Sénégal) ; Mémoire de maîtrise de géographie, Université D. Diderot – Paris 7, 230 p.
- TROCHAIN JEAN., (1940) Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal (Mémoire de l'Institut Français d'Afrique Noire, n°2), Paris, Larose, 1940, un vol.in-4°, 433 pages, 31 figures, 30 planches, photos hors texte.

TURMINE VINCENT., (Juin 2001) ; les variations spatio-temporelles des marais à mangrove et leur hydrodynamisme en Afrique de l'ouest entre la Petite Côte et la Guinée (géomorphologie et télédétection) D.E.A : Relief et dynamique de la surface, risques naturels. Univers Paris VII-Denis Diderot. 116p

UICN., (1991) : Délégation régionale en Afrique de l'ouest, Ressources naturelles du Bassin Hydrologique du Bassin de la Casamance, Bibliographique thématique, Première édition, Dakar, 49 pages

UICN., (1995): Projet de formulation d'un plan de gestion intégrée de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum. Volume de synthèse. 34 pages + annexes.

UICN., (1995): Projet de formulation d'un plan de gestion intégrée de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum. Volume des annexes. 52 pages + annexes.

UICN., (1995): Programme de gestion intégrée de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum. Premier draft, 68 pages

UICN., Sénégal (1996): Gestion des ressources naturelles côtières du Delta du Saloum, 39 pages. 125

U.I.C.N., (1996) ; Inventaire, suivi et évaluation du site Ramsar du delta du Saloum (Sénégal ; Afrique de l'ouest) 60p.

UICN., (1998): Programme de collaboration avec les organisations de base agissant dans le cadre de la conservation autour du noyau de la réserve de la biosphère du Delta du Saloum. 13 pages.

UICN., Sénégal., (1998): Cartes d'occupation et d'Utilisation du Sol de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum avec Note de synthèse (à paraître).

UICN Sénégal., (1998): Étude des dispositions légales en vigueur pour une gestion durable et participative de la réserve de la biosphère du delta du Saloum, 24 pages.

UICN Sénégal., (1998): Projet de lutte contre la remontée saline dans la vallée de Nema Bah. 29 pages + annexes.

UICN Sénégal., (1998): Etude exploratoire des terroirs villageois de l'arrondissement de Fimela, 26 pages + annexes.

UICN Sénégal., (1998): Résultats de l'enquête socio-économique sur l'interaction population-parc national delta du Saloum et la réserve de la biosphère. 35 pages + annexes.

UICN Sénégal., (1999): Le système d'Information à référence spatiale de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum (SIRS RBDS).

UICN-MEPN Sénégal., (1999): Actes du deuxième comité scientifique du projet de formulation de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum.

UICN Sénégal., (1998): La réserve de la biosphère du delta du Saloum: l'environnement aquatique, les ressources halieutiques et leur exploitation, 107 pages

UICN Sénégal., (1999): Programme d'aménagement des tannes de la zone périphérique de la réserve de la biosphère du Delta du Saloum. 45 pages.

UICN Sénégal., (1999): Plan de développement touristique pour la Réserve de la biosphère du Delta du Saloum.

UICN Sénégal., (1999): Patrimoine archéologique de la RBDS. Etat des lieux et proposition de conservation et de valorisation. 127

UICN Sénégal., (1999): Flore et végétation ligneuse de la RBDS. Etat actuel, tendances évolutives et facteurs structurants.

UICN Sénégal., (1999): Programme d'aménagement des terroirs villageois de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum. 17 pages.

UICN Sénégal., (1999): Rapport de Consultation sur la Valorisation et la commercialisation des productions halieutiques du Delta du Saloum. 63p. + annexes.

UICN Sénégal., (1999): Inventaire des connaissances sur les tortues marines de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum.

UICN. (2003). *Les mangroves du Sénégal: situation actuelle des ressources, leur exploitation et leur conservation*. Gland: UICN.

UICN (2004) ., Réduire la vulnérabilité aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : éléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol. VI, no 3-4, 1968

UICN. (2009). *Charte et plan d'actions pour une gestion durable des mangroves dans l'espace PRCM: Mauritanie, Sénégal, Gambie, Guinée Conakry, Guinée Bissau et Sierra Léone*. Dakar: MAVA, Wetlands, UICN, PRCM

UNEP-WCMC., (2007)). Mangroves of Western and Central Africa; UNEP-WCMC Biodiversity Series No 26 ISBN: 978-92-807-2792-0 June 2007 DEW/0913/CA

UNEP, (1999) – Overview of land based sources and activities affecting the marine, coastal and associated freshwater environments in West and Central African regions – Regional Seas Reports and Studies 171.

UNEP-WCMC, (2007); Mangroves of Western and Central Africa – UNEP-Regional Seas Programme and UNEP-WCMC report – 88p.

URVOY Y (1942).; Les Bassins Du Niger; Etude de Geographie physique et de Paléogéographie, [Mémoires De L'Institut Français D'Afrique Noire No. 4] Hard over – 1942

VEGA C (2000), Dynamique côtière et structuration des mangroves en Guyanes française. Analyse du site de Sinnamary sur la période 1951-1999, par télédétection et étude in situ, Université Paul Sabatier de Toulouse, Mémoire D.E.A Ecologie des Systèmes Continentaux option : Systèmes terrestres, 33 pages.

VEGA C (2000) Ecologie des Systèmes Continentaux option : Systèmes terrestres Intitulé : Dynamique côtière et structuration des mangroves en Guyane française. Analyse du site de Sinnamary sur la période 1951-1999, par télédétection et étude in situ. Mémoire Présenté devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse Dans le cadre du D.E.A Ecologie des Systèmes Continentaux - 1999/2000.

VEGA C (2000). ; Dynamique côtière et structuration des mangroves en Guyane française. Analyse du site de Sinnamary sur la période 1951-1999, par télédétection et analyse in situ. Rapport de DEA. Université Paul Sabatier, Toulouse, 2000, 33 p.

VEGA C ET AL (2000) Coastal evolution and mangrove dynamics in French Guiana over the last fifty years (1950-1999). A case study from the Sinnamary Mouth area (French Guiana), based on aerial and remote sensing data and field surveys. V workshop ECOLAB, Ecossistemas Costeiros Amarônicos, Macapa, AP (BR), 19-25 Nov. 2000. (O)

VIEILLEFON.J., (1968) – Recherches sur la genèse et l'évolution des sols de mangrove et des tannes du Sénégal, ORSTOM Bondy 47multigra, 12fig, Paris

VIEILLEFON.J., (1973) – Sur quelques transformations sédimentologiques et minéralogiques dans les sols sulfatés acides du Sénégal, In Acid sulfates soils, Publ ILRI, n°18 vol II, pp 99-113

VIEILLEFON.J (1974) ., Contribution à l'étude de la pédogénèse dans le domaine fluviomarin en climat tropical d'Afrique de l'ouest. Importance du comportement géochimique du soufre dans l'acquisition et le développement des caractères pédologiques, Thèse de Doctorat ès sciences naturelles Université Paris II, pp202-244

VIEILLEFON J., (1975) : Notice explicative de la carte pédologique de la Basse Casamance (domaine fluvio- marin) à 1/100000, n° 57, Centre de l'ORSTOM, Dakar, 70 pages.

VIEILLEFON J., (1977) : *Les sols des mangroves et des tannes de Basse Casamance (Sénégal), mémoire ORSTOM, n°83, Ed. ORSTOM, Paris.*

VIEILLEFON J, (1997) : Les sols de mangroves et de tannes de Basse Casamance, ORSTOM.

WALKER R G ET PLINT A G., (1992) Wave and storm dominated shallow marine system. In Walker R G and James NP (edit) facies model. Response to sea level changes. Geological association of Canada. St John new Foodland. 219-238.

Webographie.

<http://www.republicoftogo.com/Toutes-les-rubriques/Societe/Mobilisation-contre-l->
www.irennews.org: L'Afrique de l'ouest : le littoral sous les eaux d'ici 2009 ; 2008
Acad http://www.academie-sciences.fr/actualites/textes/G8_gb.pdf
[http://www. Google.com./hostednews/afp/](http://www.Google.com/hostednews/afp/).
http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89l%C3%A9vation_du_niveau_de_la_mer ». Catégories :
Changement climatique | Océanographie | Météorologie marine | [+]
<http://etudescaribeennes.revues.org/852>
<http://la.climatologie.free.fr>
[http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/climatologie-1/d/250-suintements-de-methane-decouverts-en-arctique-un-risque-pour-le-climat_20197/#xtor=RSS-8\)](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/climatologie-1/d/250-suintements-de-methane-decouverts-en-arctique-un-risque-pour-le-climat_20197/#xtor=RSS-8)
http://www.sopfeu.org/html/francais/tour/stats_anneeCause.php
<http://dieuetcreation.blogs.nouvelobs.com/archive/2009/01/06/l-annee-2009-pourrait-etre-une-des-plus-chaudes-de-notre-his.html>
http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970
<http://commons.wikimedia.org/wiki/User.Tsui>
<http://www.latribunefr/actualites/economie/international/20080926trib000174928/ahine-premier-pollueur-mondial-devant-les-etats-unis>
http://business.timesonline.co.uk/tol/business/law/corporate_law/article2633838.ece
<http://www.comlive.net/Pire-Que-Le-Rechauffement,181517.htm>
http://contreinfo.info/article.php3?id_article=2200
<http://www.ipsnouvelles.be/news.php?idnews=9944>
<http://bouillondecultures.blogspot.com>
<http://www.ledevoir.com/2008/09/25/207385.html>
<http://forum.webfin.com/dcboard.php...>
http://www.eesc.europa.eu/sections/sdo/index_fr.asp [archive]
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=FR&type=IM-PRESS&reference=20080526IPR29898> [archive]
<http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/bd4379a92ceceeac8525735900400c27/08d11a451131bca585257685005bf252!OpenDocument> [archive] Greenhouse Gases Threaten Public Health and the Environment / Science overwhelmingly shows greenhouse gas concentrations at unprecedented levels due to human activity

<http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2010/01/04/04016-20100104ARTFIG00381-la-chine-numero-trois-mondial-de-l-eolien-en-2009-.php> [archive]

<http://www.lefigaro.fr/lefigaromagazine/2009/12/24/01006-20091224ARTFIG00637--mechants-chinois-.php> [archive]

<http://www.lefigaro.fr/lefigaromagazine/2009/12/24/01006-20091224ARTFIG00637--mechants-chinois-.php> [archive]

<http://www.aujourdhuilachine.com/actualites-chine-l-avenir-de-l-electricite-en-chine-passe-par-les-ampoules-basse-consommation-13176.asp?1=1> [archive]

http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/oceanographie-1/d/en-images-la-plaque-wilkins-sest-separee-de-la-peninsule-antarctique_18859/ [archive]

[http://www.techno.Science.net?](http://www.techno.Science.net/)

[<http://www.csiro.au/news/ps2bf.html> [archive] Communiqué (daté de 2006) du CSIRO intitulé "Explaining the methane mystery", Reference: 06/188

<http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thanisation>

« <http://fr.ekopedia.org/M%C3%A9thane> »

<http://www.fao.org/forestry/Forestry.asp>) World Climate Report

(http://www.co2andclimate.org/climate/previous_issues/vol3/v3n20/feature1.htmhttp://www.ees.c.europa.eu/sections/sdo/index_fr.asp [archive]

<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=FR&type=IM-PRESS&reference=20080526IPR29898> [archive]

<http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/bd4379a92ceceeac8525735900400c27/08d11a451131bca585257685005bf252!OpenDocument> [archive] Greenhouse Gases Threaten Public Health and the Environment / Science overwhelmingly shows greenhouse gas concentrations at unprecedented levels due to human activity

<http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2010/01/04/04016-20100104ARTFIG00381-la-chine-numero-trois-mondial-de-l-eolien-en-2009-.php> [archive]

<http://www.lefigaro.fr/lefigaromagazine/2009/12/24/01006-20091224ARTFIG00637--mechants-chinois-.php> [archive]

<http://www.lefigaro.fr/lefigaromagazine/2009/12/24/01006-20091224ARTFIG00637--mechants-chinois-.php> [archive]

<http://www.aujourdhuilachine.com/actualites-chine-l-avenir-de-l-electricite-en-chine-passe-par-les-ampoules-basse-consommation-13176.asp?1=1> [archive]

<http://wapedia.mobi/fr/toprx/Poseidon>

Nature Geoscience, 2009, Vol 2 pp 636-639 doi: 10.1038/ngeo605 -The University of Newcastle

http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_Ch05.pdf.

<http://www.newcastle.edu.au/>

« http://en.wikipedia.org/wiki/Sea_level

http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/412.htm # tab113

http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/428.htm.

« http://fr.wikipedia.org/wiki/Niveau_de_la_mer

<http://wapedia.mobi/Fr/ficher>:

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Reisfelder_Kambodscha_Angkor2001.jpg)

(<http://merkel.ZoneO.net/Topo/Applet/telecharger.php> (2010),

Sagascience@cnrs-dir.fr - URL: <http://www.cnrs.fr>.

http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89I%A9vation_du_niveau_de_la_mer-#cite-note-44

http://www.lmd.jussieu.fr/Climat/couplage/ipsl_ccm2/index.html

www.gcte.org/schimeletal2001Patterns.pdf

www.lmd.jussieu.fr/climat/couplage/co2_work/l_igbp_2000

www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/cycle.carbone.html

[http://earthobservatory.nasa.gov/cgi-](http://earthobservatory.nasa.gov/cgi-bin/texis/webinator/printall?Library/CarbonCycle/carbon_cycle.html)

[bin/texis/webinator/printall?Library/CarbonCycle/carbon_cycle.html](http://earthobservatory.nasa.gov/cgi-bin/texis/webinator/printall?Library/CarbonCycle/carbon_cycle.html)

<http://www.acad.carleton.edu/curricular/GEOL/classes/geo258/sutdentswork/Burton.html>

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/rechfran/4theme/sourcesetpuits.htm>.

Acad http://www.academie-sciences.fr/actualites/textes/G8_gb.pdf

www.unfccc.int Site du secrétariat des nations unies sur la CCNUCC [octobre 2007].

www.denv.gouv.sn Site de la direction de l'environnement du Sénégal [fin septembre et octobre 2007].

<http://www.unep.org> ou <http://www.unep.net> Sites du programme des nations unies pour l'environnement (PNUE) [septembre 2007].

<http://www.epa.gov> Site de l'agence américaine chargée de la gestion de l'environnement [septembre et octobre 2007].

<http://europa.eu.int/comm/environment/> Site de la commission européenne pour l'environnement [septembre début octobre 2007].

<http://www.gtz.de> Site de l'agence allemande pour la coopération technique [septembre 2007].

<http://www.ipcc.ch> Site du groupe d'experts intergouvernemental pour le climat (GIEC) [septembre octobre et début novembre 2007].

www.unfccc.int Site du secrétariat des nations unies sur la CCNUCC [octobre 2007].⁸¹

www.denv.gouv.sn Site de la direction de l'environnement du Sénégal [fin septembre et octobre 2007].

<http://www.unep.org> ou <http://www.unep.net> Sites du programme des nations unies pour l'environnement (PNUE) [septembre 2007].

<http://www.epa.gov> Site de l'agence américaine chargée de la gestion de l'environnement [septembre et octobre 2007].

<http://europa.eu.int/comm/environment/> Site de la commission européenne pour l'environnement [septembre début octobre 2007].

<http://www.gtz.de> Site de l'agence allemande pour la coopération technique [septembre 2007].

<http://www.ipcc.ch> Site du groupe d'experts intergouvernemental pour le climat (GIEC) [septembre octobre et début novembre 2007].

<http://www.saveurdespaigne.com/Actualité/société/désertification.htm> [archive] [PDF]

Tchad : le HCR et les réfugiés luttent contre l'avancée du désert [archive], Willem Van Cotthem, 29 août 2009

Niger: la ruée sur les dernières forêts accélère la désertification [archive], Willem Van Cotthem, 29 novembre 2007

Alertes météo. Les grands étés en France : 1135 - 1800 [archive]

Meteo01 L'histoire des grandes sécheresses en France [archive]

Site du Vieux Saint-Maur-des-Fossés. <http://www.levieuxsaintmaur.fr/L-eglise-Saint-Nicolas> [archive]

Météoromandie Événements météorologiques de l'an 1301 à l'an 1400 [archive]

Église Notre-Dame-des-Vertus [archive]

Sécheresse de 2003 : un passé qui ne passe pas [archive] Rapport du Sénat

<http://www.saveur-despaigne.com/Actualite/societe/désertification.htm> [archive]

<http://www.delaplanete.org/Le-drame-de-la-mer-d-Aral-les-pays.html> [archive]

INRA, 4/02/12 Phéno Arch: an innovative platform to analyze the drought tolerance of plants [archive]

<http://www.ghf-ge.org/fr/human-impact-report.php> [archive]

http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/climatologie-1/d/rechauffement-climatique-300-000-morts-par-an_19468/ [archive]

Que nous apprennent les observations de température ? [archive], sur le site de Météo-France.

http://www.academie-sciences.fr/publications/rapports/pdf/climat_261010.pdf [archive]

(en) met office [archive]. Consulté le 2012

W. Collins, R. Colman, J. Haywood, M. Manning et Ph. Mote, « Réchauffement climatique, le temps des certitudes », dans *Pour la Science*, n° 360, octobre 2007, p. 68-75 [texte intégral [archive] (page consultée le 30 juillet 2008)].

L'Académie des Sciences [archive] estime en 2010 que l'élévation a été de 0,8 °C depuis 1870, à plus ou moins 0,2 ° C **(en)** 2008 Was Earth's Coolest Year Since 2000 [archive], NASA, février 2009. Consulté le 2009-12-26

GISS Data Update: Global Temperature and Europe's Frigid Air [archive] traduction française des communiqués de la Nasa [archive] relatifs au climat de 2010 et d'une tendance au réchauffement qui semble se confirmer

Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo, 2010: *Global surface temperature change* [archive]. Rev. Geophys. 48, RG4004, doi: 10.1029/2010RG000345

http://www.esa.int/SPECIALS/Cryosat/SEM0440OK7G_0.html [archive]

<http://www.esa.int/SPECIALS/Cryosat/index.html> [archive]

(en) Goddard Space Flight Center, « Arctic Sea Ice Continues to Decline, Arctic Temperatures Continue to Rise In 2005 [archive] », NASA, septembre 2005. Consulté le 2008-07-30

(en) D.A. Rothrock, Y. Yu et G.A. Maykut, « Thinning of the Arctic Sea-Ice Cover », dans *Geophysical Research Letters*, vol. 26, n° 23, 1^{er} décembre 1999.

(en) GRID-Arendal, « Change in the age of ice on the Arctic Ocean, comparing September ice ages in 1988, 1990, 2001 and 2005 (évolution de l'âge moyen des glaces polaires) [archive] », *Maps and Graphics library*, Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2008. Consulté le 2008-07-30

Louis Reynaud et Christian Vincent, « Histoire des fluctuations des glaciers en remontant le Petit Age de Glace [archive] », *Variations climatiques et hydrologie*, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (Grenoble). Consulté le 2008-07-30

http://unfccc.int/files/essential_background/kyoto_protocol/application/pdf/kpstats.pdf

Greenhouse Gases Threaten Public Health and the Environment / Science overwhelmingly shows greenhouse gas concentrations at unprecedented levels due to human activity [archive]

<http://www.terraeco.net/Centrales-nucleaires-en,16261.html> [archive]

<http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2010/01/04/04016-20100104ARTFIG00381-la-chine-numero-trois-mondial-de-l-eolien-en-2009-.php> [archive]

<http://www.lefigaro.fr/lefigaromagazine/2009/12/24/01006-20091224ARTFIG00637--mechants-chinois-.php> [archive]

<http://www.aujourdhuilachine.com/actualites-chine-l-avenir-de-l-electricite-en-chine-passe-par-les-ampoules-basse-consommation-13176.asp?1=1> [archive]

<http://www.journalauto.com/lja/article.view/13926/l-electrique-revient-au-premier-plan-en-chine/6/services> [archive]

<http://www.latribune.fr/actualites/economie/international/20080926trib000174928/la-chine-premier-pollueur-mondial-devant-les-etats-unis.html> [archive]

www.sist.sn

www.memoireonline.com

www.horizondocumentation.ird.fr

<http://www.fao.org/forestry/mangrove/vegetation/fr/sen/>

www.slateafrique.com

<http://www.vertigo.revues.org/2206>

http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89l%C3%A9vation_du_niveau_de_la_mer

MetOffice <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut3/diagnostics/global/nh+sh/> et plus précisément : <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut3/diagnostics/global/nh+sh/annual>

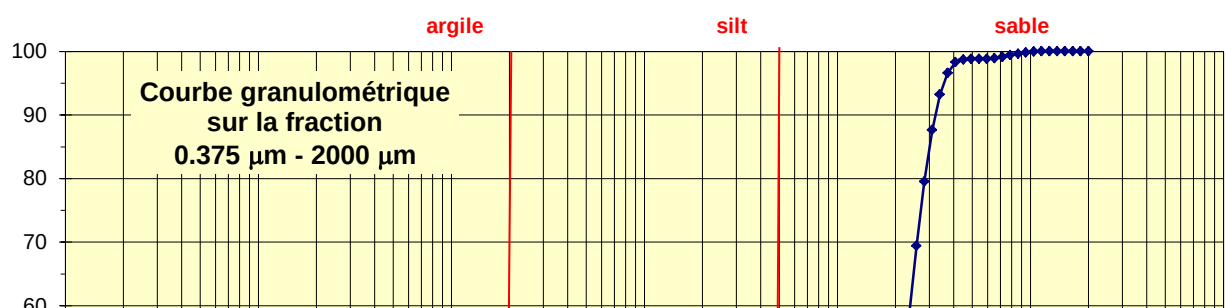
http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut3/diagnostics/global/nh+sh/annual_s21

GISS Data Update: Global Temperature and Europe's Frigid Air [archive], sur le site data.giss.nasa.gov

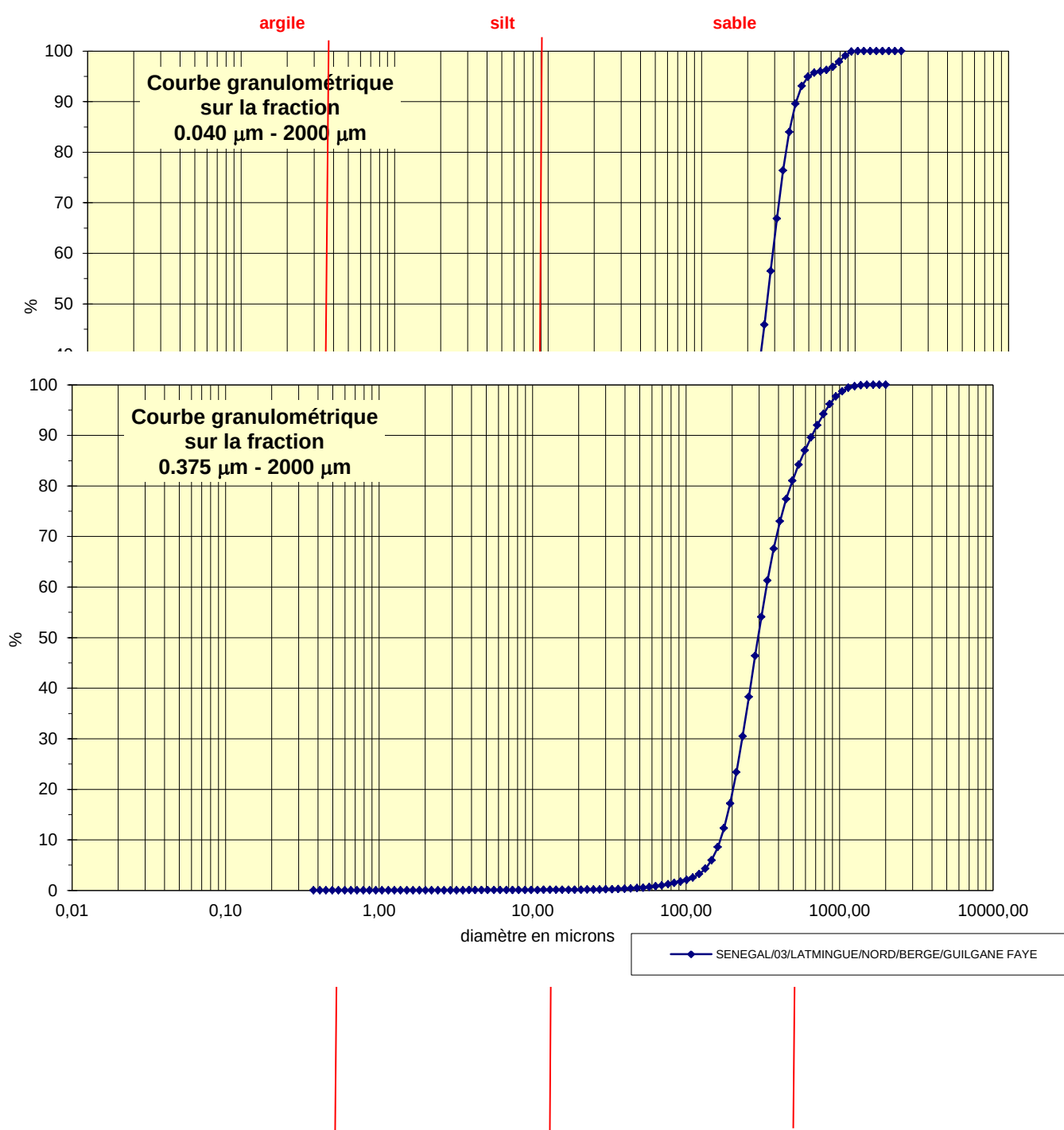
Geophysical research letters (2010) Twentieth century bipolar seesaw of the Arctic and Antarctic surface air temperatures [archive].

Global and Northern Hemisphere Tropical Cyclone Activity [still [archive] lowest in 30-years], Université de Floride. Consulté le 2009-03-29

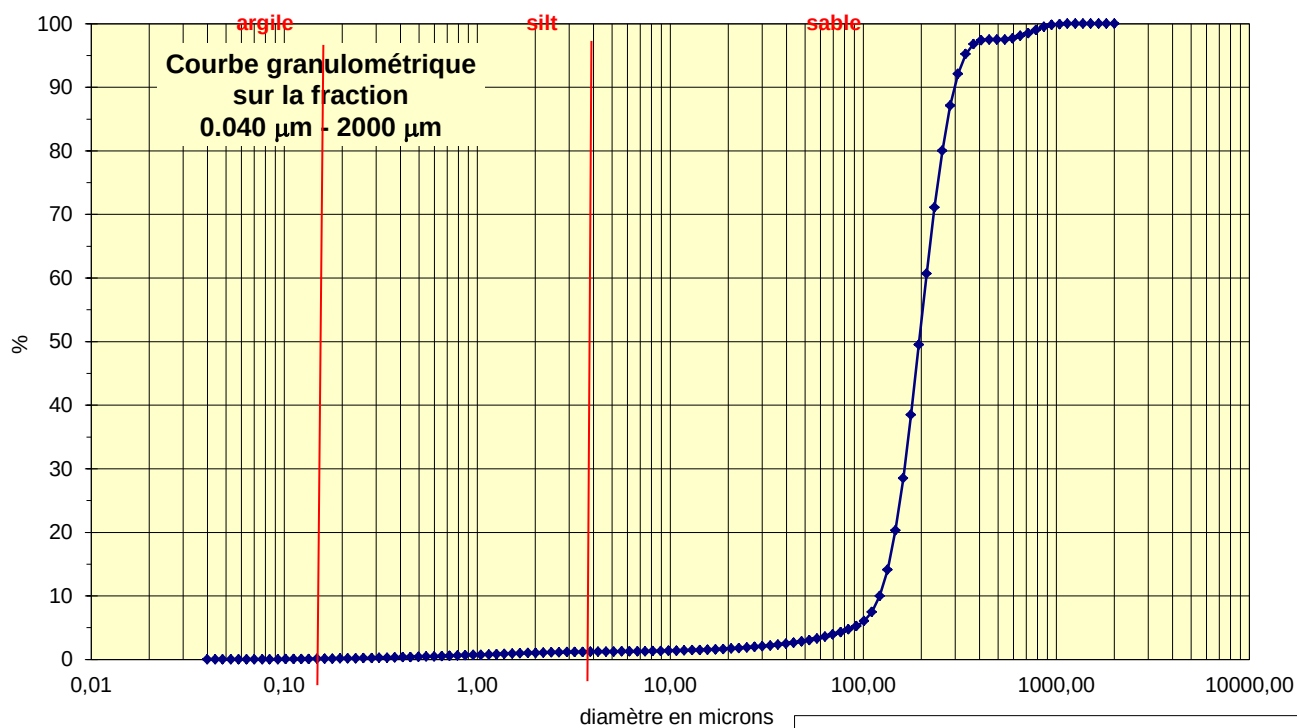
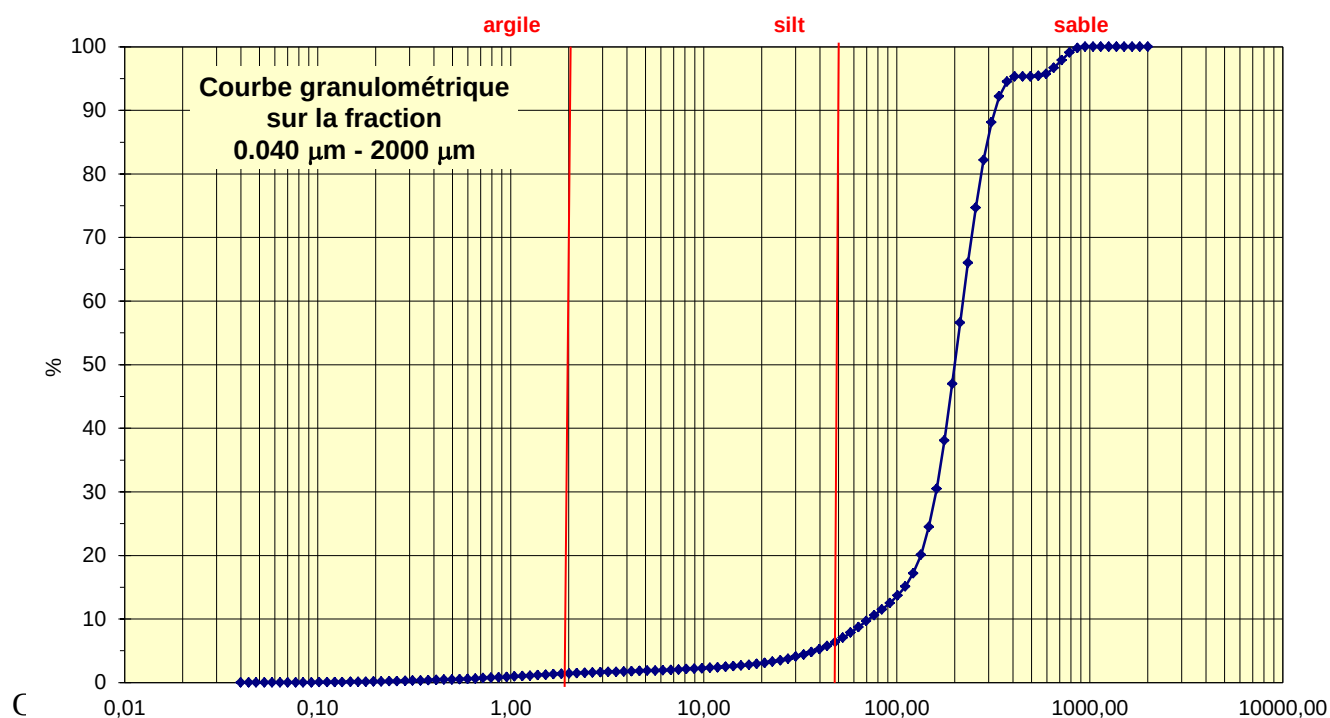
Annexe 1 Courbes semi- logarithmiques des unités morphologiques.



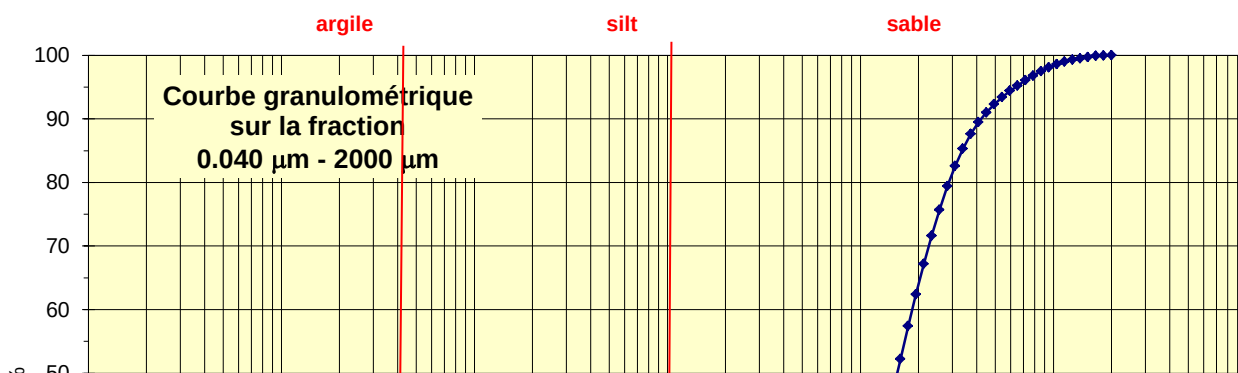
Courbe semi- logarithmique N° xx fond du chenal Mar Lodji



Courbe semi- logarithmique N° xx vasière à mangrove : Niodior



Courbe semi- logarithmique N° xx du tanne nu : Fayako



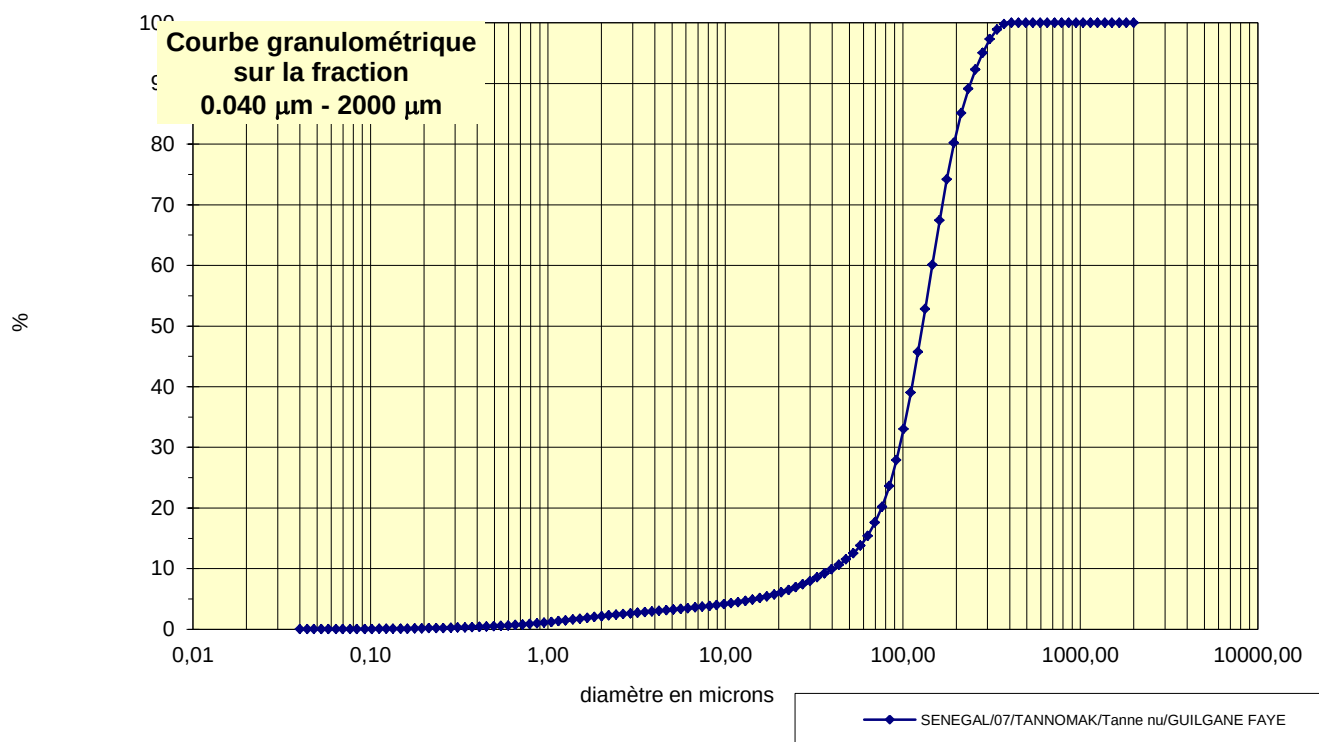
argile

Courbe semi- logarithmique N° xx du tanne nu : Tanno Mak

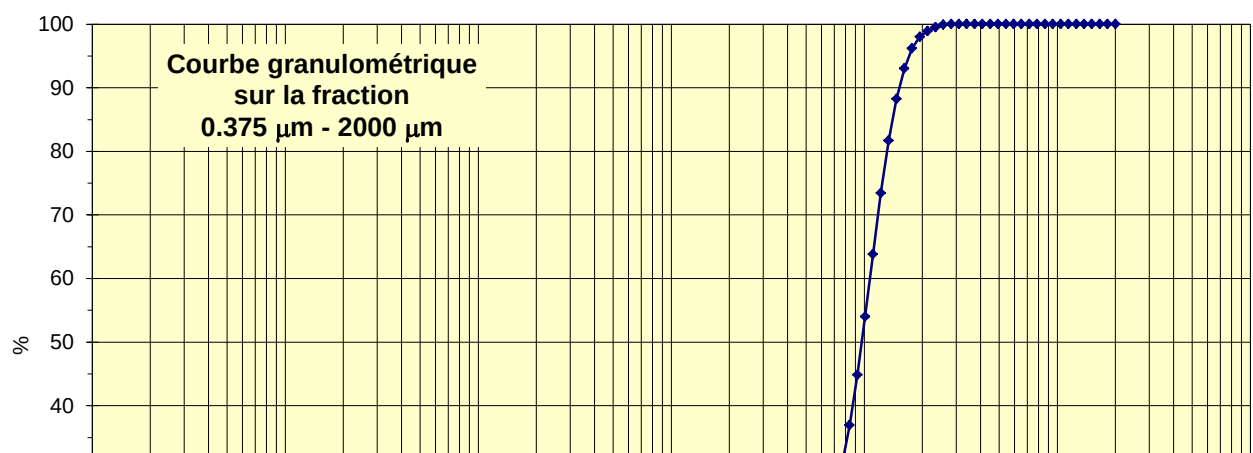
argile

silt

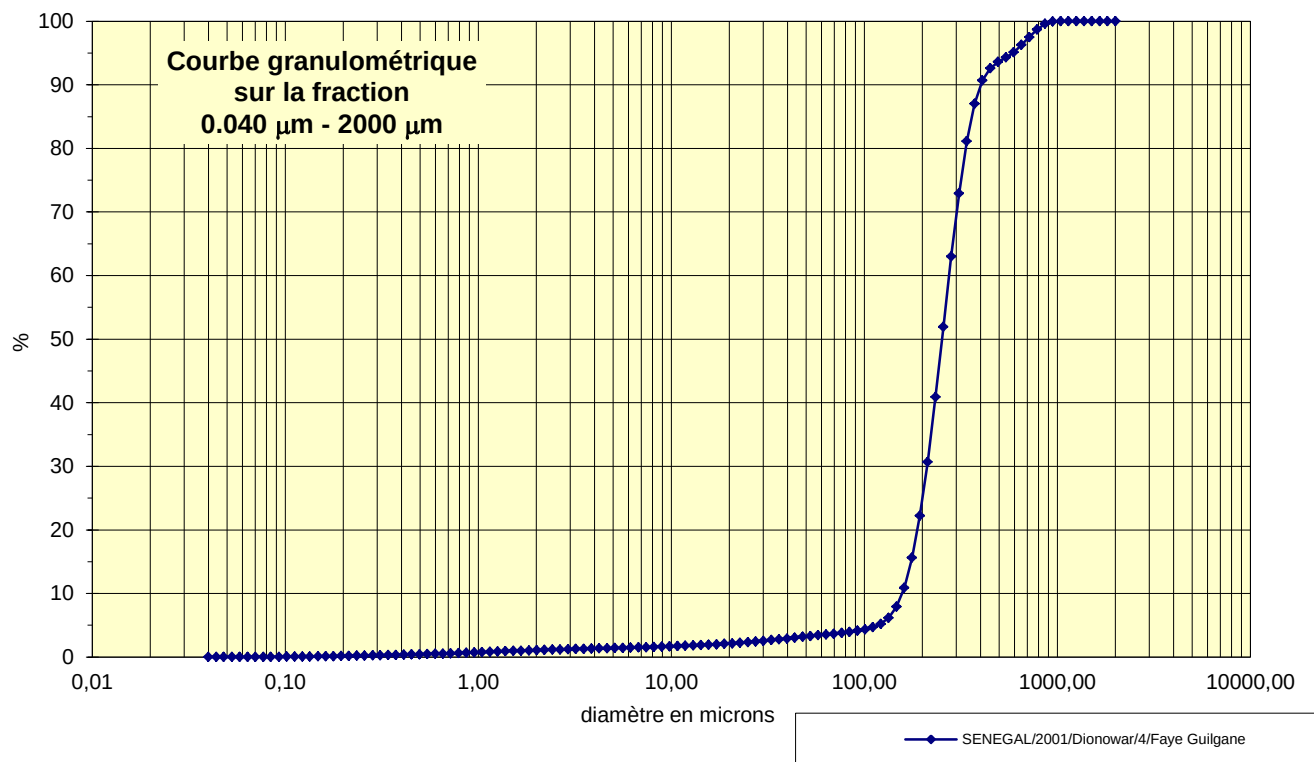
sable



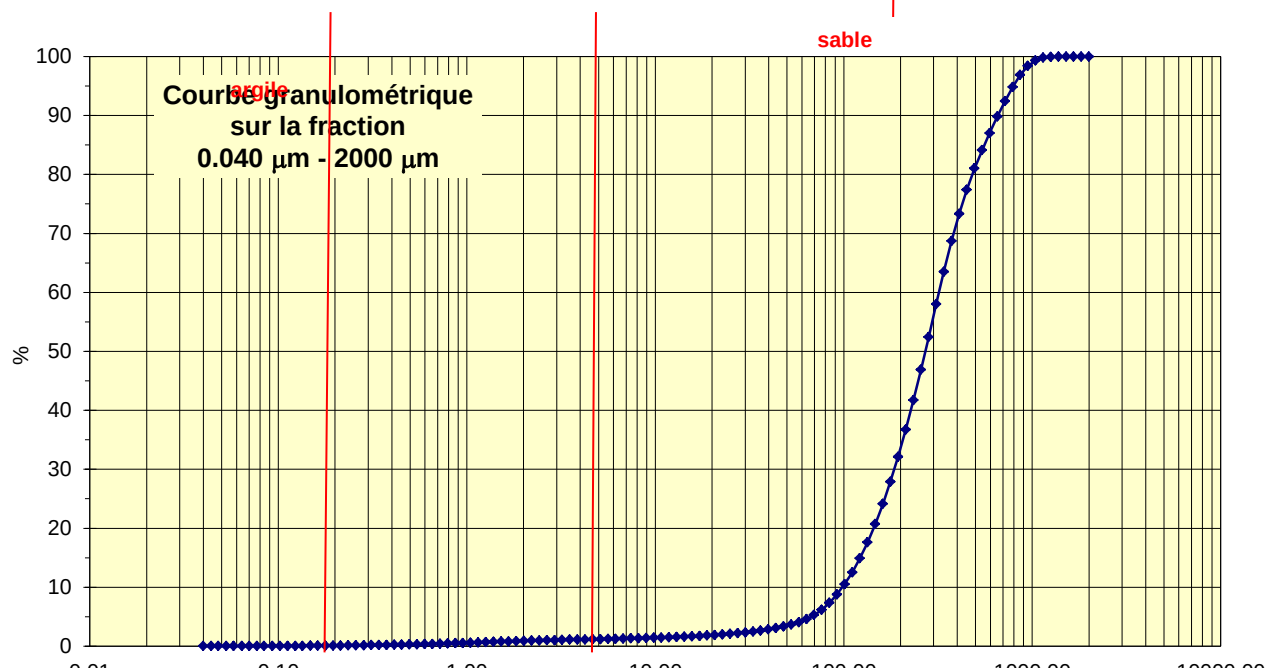
silt



Courbe semi- logarithmique N° xx du cordon de Dionewar nord



Courbe semi- logarithmique N° xx du cordon de Falia à l'est



Courbe semi- logarithmique N° xx de la vallée fossile à Ndiob

Annexe 2

Tableau : des paramètres texturaux ; fond du chenal : Mar Lodji

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,205
d_5	133,700	2,90	Krumbein, Q_d	-0,269
d_{10}	146,800	2,77	Inman, σ_ϕ	-0,404
d_{16}	161,200	2,63	Folk & Ward, σ_ϕ	-0,406
d_{25}	176,900	2,50	Hazen, C_u	1,595
d_{30}	176,900	2,50	Moyenne	
d_{50}	213,200	2,23	Trask, M	216,9
d_{60}	234,100	2,09	Inman, M_ϕ	2,229
d_{75}	256,900	1,96	Folk & Ward, M_z	2,230
d_{84}	282,100	1,83	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	309,600	1,69	Skewness, S_{k-1}	1,000
d_{95}	339,900	1,56	Skewness, S_{k-2}	1,000
% Argile inférieur à 2μ	A	0,00	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	0,001
% Silts de 2μ à 50μ	LT	0,00	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	0,000
limons fins 2μ à 20μ	LF	0,00	Folk & Ward, Sk_I	0,000
limons grossiers 20μ à 50μ	LG	0,00	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50μ à 2000μ	ST	100,0	Krumbein & Petijohn, K	0,246
sables fins 50μ à 200μ	SF	33,50	Inman, K_ϕ	0,667

sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	0,38	Folk & Ward, K_G	1,025
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	33,12	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	66,50	C_c	0,911
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	65,30		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	1,00		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,20		

Tableau : des paramètres texturaux de l'estran à Djifère

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,263
d_5	111,000	3,17	Krumbein, Q_d	-0,336
d_{10}	146,800	2,77	Inman, σ_ϕ	-0,539
d_{16}	176,800	2,50	Folk & Ward, σ_ϕ	-0,596
d_{25}	194,200	2,36	Hazen, C_u	1,922
d_{30}	213,200	2,23	Moyenne	
d_{50}	256,800	1,96	Trask, M	251,9
d_{60}	282,100	1,83	Inman, M_ϕ	1,961
d_{75}	309,600	1,69	Folk & Ward, M_z	1,961
d_{84}	373,100	1,42	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	409,600	1,29	Skewness, S_{k-1}	0,912
d_{95}	493,600	1,02	Skewness, S_{k-2}	0,955
% Argile inférieur à 2 μ	A	0,66	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	0,000
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	1,19	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-0,248
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	0,49	Folk & Ward, Sk_I	-0,062
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	0,70	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	98,15	Krumbein & Petijohn, K	0,220
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	18,75	Inman, K_ϕ	0,998
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	1,53	Folk & Ward, K_G	1,311

sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	17,22	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	79,40	C_c	1,098
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	74,30		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	5,00		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,10		

Tableau : des paramètres des berges au sud de Latmingué

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,921
d_5	33,000	4,92	Krumbein, Q_d	-0,942
d_{10}	47,930	4,38	Inman, σ_ϕ	-1,278
d_{16}	63,410	3,98	Folk & Ward, σ_ϕ	-1,292
d_{25}	76,430	3,71	Hazen, C_u	4,052
d_{30}	83,900	3,58	Moyenne	
d_{50}	146,800	2,77	Trask, M	179,3
d_{60}	194,200	2,36	Inman, M_ϕ	2,701
d_{75}	282,100	1,83	Folk & Ward, M_z	2,723
d_{84}	373,100	1,42	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	449,700	1,15	Skewness, S_{k-1}	1,000
d_{95}	653,000	0,61	Skewness, S_{k-2}	1,000
% Argile inférieur à 2 μ	A	0,770	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	0,053
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	7,610	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	0,000
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	2,110	Folk & Ward, Sk_I	0,026
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	5,500	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	91,62	Krumbein & Petijohn, K	0,256
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	50,12	Inman, K_ϕ	0,684
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	22,52	Folk & Ward, K_G	0,937
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	27,60	Coefficient de courbure	

sables grossiers 200μ à 2000μ	SG	41,50	C_c	0,756
sables grossiers 200μ à 500μ	SG1	31,80		
sables grossiers 500μ à 1000μ	SG2	8,10		
sables grossiers 1000μ à 2000μ	SG3	1,60		

Tableau : des paramètres texturaux de la berge à Fayako

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(φ)	Trask, S_o	1,452
d ₅	27,380	5,19	Krumbein, Q_d	-0,538
d ₁₀	52,630	4,25	Inman, σ_ϕ	-0,807
d ₁₆	69,620	3,84	Folk & Ward, σ_ϕ	-0,914
d ₂₅	92,090	3,44	Hazen, C_u	3,063
d ₃₀	101,100	3,31	Moyenne	
d ₅₀	133,700	2,90	Trask, M	143,2
d ₆₀	161,200	2,63	Inman, M_ϕ	3,037
d ₇₅	194,200	2,36	Folk & Ward, M_z	2,992
d ₈₄	213,200	2,23	Coefficient de dissymétrie	
d ₉₀	256,800	1,96	Skewness, S_{k-1}	1,000
d ₉₅	282,100	1,83	Skewness, S_{k-2}	1,000
% Argile inférieur à 2μ	A	1,34	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,166
% Silts de 2μ à 50μ	LT	6,80	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-0,750
limons fins 2μ à 20μ	LF	2,37	Folk & Ward, Sk_I	-0,263
limons grossiers 20μ à 50μ	LG	4,43	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50μ à 2000 μ	ST	91,86	Krumbein & Petijohn, K	0,250
sables fins 50μ à 200μ	SF	65,16	Inman, K_ϕ	1,084
sables fins 50μ à 100μ	SF1	15,26	Folk & Ward, K_G	1,281
sables fins 100μ à 200 μ	SF2	49,90	Coefficient de courbure	

sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	26,70	C_c	1,205
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	26,70		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	0,00		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,00		

Tableau : des paramètres texturaux de la vasière à mangrove : Niodior

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,323
d_5	36,240	4,79	Krumbein, Q_d	-0,403
d_{10}	69,620	3,84	Inman, σ_ϕ	-0,673
d_{16}	111,000	3,17	Folk & Ward, σ_ϕ	-0,846
d_{25}	146,800	2,77	Hazen, C_u	3,062
d_{30}	146,800	2,77	Moyenne	
d_{50}	194,200	2,36	Trask, M	201,8
d_{60}	213,200	2,23	Inman, M_ϕ	2,499
d_{75}	256,800	1,96	Folk & Ward, M_z	2,454
d_{84}	282,100	1,83	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	309,600	1,69	Skewness, S_{k-1}	1,000
d_{95}	373,100	1,42	Skewness, S_{k-2}	1,000
% Argile inférieur à 2 μ	A	1,37	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,199
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	4,98	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-1,100
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	1,55	Folk & Ward, Sk_I	-0,320
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	3,43	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	93,65	Krumbein & Petijohn, K	0,229
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	40,65	Inman, K_ϕ	1,500
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	6,15	Folk & Ward, K_G	1,709

sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	34,50	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	53,00	C_c	1,452
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	48,30		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	4,69		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,01		

Tableau : des paramètres texturaux de la vasière à mangrove : Palmarin Nguéthie

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,594
d_5	30,070	5,06	Krumbein, Q_d	-0,673
d_{10}	63,410	3,98	Inman, σ_ϕ	-1,009
d_{16}	92,090	3,44	Folk & Ward, σ_ϕ	-1,137
d_{25}	133,700	2,90	Hazen, C_u	4,050
d_{30}	161,200	2,63	Moyenne	
d_{50}	234,100	2,09	Trask, M	236,8
d_{60}	256,800	1,96	Inman, M_ϕ	2,432
d_{75}	339,800	1,56	Folk & Ward, M_z	2,319
d_{84}	373,100	1,42	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	449,700	1,15	Skewness, S_{k-1}	0,829
d_{95}	541,900	0,88	Skewness, S_{k-2}	0,910
% Argile inférieur à 2 μ	A	0,780	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,334
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	6,500	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-0,867
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	2,500	Folk & Ward, Sk_I	-0,377
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	4,000	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	92,72	Krumbein & Petijohn, K	0,267
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	29,52	Inman, K_ϕ	1,067

sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	8,32	Folk & Ward, K_G	1,270
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	21,20	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	63,20	C_c	1,596
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	55,40		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	7,00		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,80		

Tableau : des paramètres texturaux du Tanne nu : Dionewar

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,323
d_5	36,240	4,79	Krumbein, Q_d	-0,404
d_{10}	101,100	3,31	Inman, σ_ϕ	-0,606
d_{16}	133,700	2,90	Folk & Ward, σ_ϕ	-0,894
d_{25}	161,200	2,63	Hazen, C_u	2,316
d_{30}	176,800	2,50	Moyenne	
d_{50}	213,200	2,23	Trask, M	221,7
d_{60}	234,100	2,09	Inman, M_ϕ	2,297
d_{75}	282,100	1,83	Folk & Ward, M_z	2,275
d_{84}	309,600	1,69	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	373,100	1,42	Skewness, S_{k-1}	1,000
d_{95}	541,900	0,88	Skewness, S_{k-2}	1,000
% Argile inférieur à 2 μ	A	1,27	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,111
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	4,76	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-0,999
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	1,83	Folk & Ward, Sk_I	-0,211
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	2,93	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	93,97	Krumbein & Petijohn, K	0,222

sables fins 50 μ à 200 μ	SF	27,97	Inman, K_ϕ	2,221
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	3,03	Folk & Ward, K_G	1,981
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	24,94	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	66,00	C_c	1,321
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	60,10		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	5,90		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,00		

Tableau : des paramètres texturaux du Tanne nu : Foundiougne

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,594
d_5	0,721	10,44	Krumbein, Q_d	-0,673
d_{10}	8,147	6,94	Inman, σ_ϕ	-1,211
d_{16}	27,380	5,19	Folk & Ward, σ_ϕ	-1,829
d_{25}	52,630	4,25	Hazen, C_u	13,63
d_{30}	63,410	3,98	Moyenne	
d_{50}	92,090	3,44	Trask, M	93,17
d_{60}	111,000	3,17	Inman, M_ϕ	3,979
d_{75}	133,700	2,90	Folk & Ward, M_z	3,800
d_{84}	146,800	2,77	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	176,800	2,50	Skewness, S_{k-1}	0,830
d_{95}	194,200	2,36	Skewness, S_{k-2}	0,911
% Argile inférieur à 2 μ	A	6,96	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,445
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	15,64	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-2,444
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	5,74	Folk & Ward, Sk_I	-0,589
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	9,90	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	

% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	77,40	Krumbein & Petijohn, K	0,240
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	71,00	Inman, K_ϕ	2,332
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	21,90	Folk & Ward, K_G	2,460
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	49,10	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	6,40	C_c	4,446
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	6,40		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	0,00		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,00		

Tableau : des paramètres texturaux du Tanne nu : Sud Palmarin Diakhanor

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,386
d_5	76,430	3,71	Krumbein, Q_d	-0,471
d_{10}	111,000	3,17	Inman, σ_ϕ	-0,673
d_{16}	146,800	2,77	Folk & Ward, σ_ϕ	-0,785
d_{25}	176,800	2,50	Hazen, C_u	2,541
d_{30}	194,200	2,36	Moyenne	
d_{50}	234,100	2,09	Trask, M	258,3
d_{60}	282,100	1,83	Inman, M_ϕ	2,095
d_{75}	339,800	1,56	Folk & Ward, M_z	2,095
d_{84}	373,100	1,42	Coefficient de dissymétrie	
d_{90}	449,700	1,15	Skewness, S_{k-1}	1,096
d_{95}	594,900	0,75	Skewness, S_{k-2}	1,047
% Argile inférieur à 2 μ	A	0,042	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,001
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	2,768	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-0,200
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	0,888	Folk & Ward, Sk_I	-0,046

limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	1,880	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	97,19	Krumbein & Petijohn, K	0,241
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	26,99	Inman, K_ϕ	1,200
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	3,20	Folk & Ward, K_G	1,287
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	23,79	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	70,20	C_c	1,204
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	61,20		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	8,50		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,50		

Tableau : des paramètres texturaux du Tanne herbu : Thialane ouest

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,594
d ₅	5,111	7,61	Krumbein, Q_d	-0,673
d ₁₀	20,700	5,59	Inman, σ_ϕ	-1,077
d ₁₆	36,240	4,79	Folk & Ward, σ_ϕ	-1,333
d ₂₅	57,770	4,11	Hazen, C_u	5,884
d ₃₀	69,620	3,84	Moyenne	
d ₅₀	101,100	3,31	Trask, M	102,3
d ₆₀	121,800	3,04	Inman, M_ϕ	3,710
d ₇₅	146,800	2,77	Folk & Ward, M_z	3,575
d ₈₄	161,200	2,63	Coefficient de dissymétrie	
d ₉₀	176,800	2,50	Skewness, S_{k-1}	0,830
d ₉₅	194,200	2,36	Skewness, S_{k-2}	0,911
% Argile inférieur à 2 μ	A	3,31	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,375
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	16,59	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-1,562

limons fins 2 μ à 20 μ	LF	5,94	Folk & Ward, Sk _I	-0,508
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	10,65	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	80,10	Krumbein & Petijohn, K	0,285
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	71,90	Inman, K $_{\phi}$	1,437
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	19,60	Folk & Ward, K _G	1,599
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	52,30	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	8,20	C _c	1,922
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	8,20		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	0,00		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,00		

Tableau : des paramètres texturaux du Tanne herbu : Palmarin Nguéthie

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μ m)	(ϕ)	Trask, S _o	1,521
d ₅	39,780	4,65	Krumbein, Q _d	-0,605
d ₁₀	69,610	3,84	Inman, σ_{ϕ}	-1,009
d ₁₆	111,000	3,17	Folk & Ward, σ_{ϕ}	-1,116
d ₂₅	161,200	2,63	Hazen, C _u	4,053
d ₃₀	194,200	2,36	Moyenne	
d ₅₀	256,900	1,96	Trask, M	267,2
d ₆₀	282,100	1,83	Inman, M $_{\phi}$	2,162
d ₇₅	373,100	1,42	Folk & Ward, M _Z	2,095
d ₈₄	449,700	1,15	Coefficient de dissymétrie	
d ₉₀	541,900	0,88	Skewness, S _{k-1}	0,911
d ₉₅	653,000	0,61	Skewness, S _{k-2}	0,955
% Argile inférieur à 2 μ	A	0,05	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,200

% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	5,88	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-0,666
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	1,17	Folk & Ward, Sk_I	-0,266
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	4,71	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	94,07	Krumbein & Petijohn, K	0,224
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	23,97	Inman, K_ϕ	1,000
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	6,57	Folk & Ward, K_G	1,367
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	17,40	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	70,10	C_c	1,921
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	56,80		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	12,70		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,60		

Tableau : des paramètres texturaux du cordon de Falia au sud

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,262
d ₅	83,900	3,58	Krumbein, Q_d	-0,336
d ₁₀	121,800	3,04	Inman, σ_ϕ	-0,471
d ₁₆	146,800	2,77	Folk & Ward, σ_ϕ	-0,541
d ₂₅	161,200	2,63	Hazen, C_u	1,922
d ₃₀	176,800	2,50	Moyenne	
d ₅₀	213,200	2,23	Trask, M	209,0
d ₆₀	234,100	2,09	Inman, M_ϕ	2,297
d ₇₅	256,800	1,96	Folk & Ward, M_z	2,275
d ₈₄	282,100	1,83	Coefficient de dissymétrie	
d ₉₀	309,600	1,69	Skewness, S_{k-1}	0,911
d ₉₅	339,800	1,56	Skewness, S_{k-2}	0,954

% Argile inférieur à 2 μ	A	0,87	Inman, $\alpha_{\phi-1}$	-0,143
% Silts de 2 μ à 50 μ	LT	2,09	Inman, $\alpha_{\phi-2}$	-0,714
limons fins 2 μ à 20 μ	LF	0,86	Folk & Ward, Sk_I	-0,238
limons grossiers 20 μ à 50 μ	LG	1,23	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50 μ à 2000 μ	ST	97,04	Krumbein & Petijohn, K	0,255
sables fins 50 μ à 200 μ	SF	32,04	Inman, K_{ϕ}	1,141
sables fins 50 μ à 100 μ	SF1	2,53	Folk & Ward, K_G	1,231
sables fins 100 μ à 200 μ	SF2	29,51	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200 μ à 2000 μ	SG	65,00	C_c	1,096
sables grossiers 200 μ à 500 μ	SG1	65,00		
sables grossiers 500 μ à 1000 μ	SG2	0,00		
sables grossiers 1000 μ à 2000 μ	SG3	0,00		

Tableau : des paramètres texturaux du cordon de Palmarin Nguéthie

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(ϕ)	Trask, S_o	1,323
d ₅	47,930	4,38	Krumbein, Q_d	-0,404
d ₁₀	83,900	3,58	Inman, σ_{ϕ}	-0,672
d ₁₆	101,100	3,31	Folk & Ward, σ_{ϕ}	-0,805
d ₂₅	121,800	3,04	Hazen, C_u	2,315
d ₃₀	133,700	2,90	Moyenne	
d ₅₀	161,200	2,63	Trask, M	167,5
d ₆₀	194,200	2,36	Inman, M_{ϕ}	2,634
d ₇₅	213,200	2,23	Folk & Ward, M_z	2,634
d ₈₄	256,800	1,96	Coefficient de dissymétrie	
d ₉₀	309,600	1,69	Skewness, S_{k-1}	0,999

d ₉₅	409,600	1,29	Skewness, S _{k-2}	1,000
% Argile inférieur à 2μ	A	0,450	Inman, α _{φ-1}	-0,001
% Silts de 2μ à 50μ	LT	4,140	Inman, α _{φ-2}	-0,301
limons fins 2μ à 20μ	LF	1,570	Folk & Ward, Sk _I	-0,066
limons grossiers 20μ à 50μ	LG	2,570	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50μ à 2000 μ	ST	95,41	Krumbein & Petijohn, K	0,202
sables fins 50μ à 200μ	SF	55,21	Inman, K _φ	1,302
sables fins 50μ à 100μ	SF1	6,51	Folk & Ward, K _G	1,571
sables fins 100μ à 200 μ	SF2	48,70	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200μ à 2000μ	SG	40,20	C _c	1,097
sables grossiers 200μ à 500μ	SG1	35,40		
sables grossiers 500μ à 1000μ	SG2	4,60		
sables grossiers 1000μ à 2000μ	SG3	0,20		

Tableau : des paramètres texturaux de la vallée fossile à Tounn (Saloum)

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(φ)	Trask, S _o	1,386
d ₅	24,950	5,32	Krumbein, Q _d	-0,471
d ₁₀	47,930	4,38	Inman, σ _φ	-0,740
d ₁₆	63,410	3,98	Folk & Ward, σ _φ	-0,839
d ₂₅	83,900	3,58	Hazen, C _u	2,789
d ₃₀	92,090	3,44	Moyenne	
d ₅₀	121,800	3,04	Trask, M	122,6
d ₆₀	133,700	2,90	Inman, M _φ	3,239
d ₇₅	161,200	2,63	Folk & Ward, M _z	3,172
d ₈₄	176,800	2,50	Coefficient de dissymétrie	

d ₉₀	194,200	2,36	Skewness, S _{k-1}	0,912
d ₉₅	213,200	2,23	Skewness, S _{k-2}	0,955
% Argile inférieur à 2μ	A	2,10	Inman, α _{φ-1}	-0,273
% Silts de 2μ à 50μ	LT	7,24	Inman, α _{φ-2}	-1,000
limons fins 2μ à 20μ	LF	2,06	Folk & Ward, Sk _I	-0,376
limons grossiers 20μ à 50μ	LG	5,18	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50μ à 2000 μ	ST	90,66	Krumbein & Petijohn, K	0,264
sables fins 50μ à 200μ	SF	76,96	Inman, K _φ	1,092
sables fins 50μ à 100μ	SF1	17,26	Folk & Ward, K _G	1,346
sables fins 100μ à 200 μ	SF2	59,70	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200μ à 2000μ	SG	13,70	C _c	1,323
sables grossiers 200μ à 500μ	SG1	13,70		
sables grossiers 500μ à 1000μ	SG2	0,00		
sables grossiers 1000μ à 2000μ	SG3	0,00		

Tableau : des paramètres texturaux de la vallée fossile à Ngalagne Mbouloume (Sine)

Fractiles	Taille	Taille	Indice de classement	valeur
	(μm)	(φ)	Trask, S _o	1,386
d ₅	39,770	4,65	Krumbein, Q _d	-0,471
d ₁₀	69,620	3,84	Inman, σ _φ	-0,740
d ₁₆	92,090	3,44	Folk & Ward, σ _φ	-0,818
d ₂₅	121,800	3,04	Hazen, C _u	2,789
d ₃₀	133,700	2,90	Moyenne	
d ₅₀	176,800	2,50	Trask, M	178,0
d ₆₀	194,200	2,36	Inman, M _φ	2,701
d ₇₅	234,100	2,09	Folk & Ward, M _z	2,634

d ₈₄	256,800	1,96	Coefficient de dissymétrie	
d ₉₀	282,100	1,83	Skewness, S _{k-1}	0,912
d ₉₅	309,600	1,69	Skewness, S _{k-2}	0,955
% Argile inférieur à 2μ	A	1,20	Inman, α _{φ-1}	-0,272
% Silts de 2μ à 50μ	LT	4,29	Inman, α _{φ-2}	-0,908
limons fins 2μ à 20μ	LF	1,56	Folk & Ward, Sk _I	-0,363
limons grossiers 20μ à 50μ	LG	2,73	Coefficient d'acuité (Kurtosis)	
% Sables 50μ à 2000 μ	ST	94,51	Krumbein & Petijohn, K	0,264
sables fins 50μ à 200μ	SF	47,41	Inman, K _φ	1,001
sables fins 50μ à 100μ	SF1	8,71	Folk & Ward, K _G	1,287
sables fins 100μ à 200 μ	SF2	38,70	Coefficient de courbure	
sables grossiers 200μ à 2000μ	SG	47,10	C _c	1,322
sables grossiers 200μ à 500μ	SG1	47,10		
sables grossiers 500μ à 1000μ	SG2	0,00		
sables grossiers 1000μ à 2000μ	SG3	0,00		

Erosion au niveau des estrans de Dionewar





Liste des illustrations

Graphique 1: Directions moyennes mensuelles des vents de la station de Mbour de 1983 à 2012.	146
Graphique 2: Directions moyennes mensuelles des vents de la station de Fatick de 1993.....	149
Graphique 3: Directions moyennes mensuelles des vents de la station de Kaolack de	152
Graphique 36: courbes granulométriques, fond du chenal domaine insulaire	302
Graphique 37: : courbe leptokurtique des sédiments à Diamniadio	303
Graphique 38: courbes granulométriques, fond du chenal (domaine continental).....	304
Graphique 39: : courbe leptokurtique des sédiments du fond du chenal à Sokone.....	306
Graphique 40: courbes leptokurtiques des sédiments à Ndiémou:	307
Graphique 41: courbes granulométriques, des berges et estrans domaine insulaire	308
Graphique 42: courbes leptokurtiques des sédiments à Mar Fafaco*dissymétrie à gauche et leptokurtique....	309
Graphique 43: courbes leptokurtiques des sédiments à Fayako.....	310
Graphique 44: courbes des berges et estrans, (domaine continental	311
Graphique 45: courbe leptokurtique des sédiments à Latmingué Est	313
Graphique 46: courbes granulométriques des bancs sableux et flèche	316

Graphique 47: courbes granulométriques des vasières à mangrove dans le domaine insulaire.	349
Graphique 48: : Courbes leptokurtiques des sédiments à Dionewar, Falia et Diogane	351
Graphique 49: courbes granulométriques des vasières à mangrove dans le domaine continental.	353
Graphique 50: Courbes leptokurtiques des sédiments à Palmarin et à Siwo	354
Graphique 51: courbes granulométriques des tannes nus dans le domaine insulaire.....	363
Graphique 52: Courbes leptokurtiques des sédiments à Dionewar.....	365
Graphique 53: courbes granulométriques des tannes nus dans le domaine continental.	366
Graphique 54: Courbes leptokurtiques des sédiments à Palmarin Ngallou nord	368
Graphique 55: courbes granulométriques des tannes nus le long du Sine, du Ndangane, du Bandiala et du Guilor	369
Graphique 56: Courbes leptokurtiques des sédiments à Fatick, Ndiémou.....	371
Graphique 57: courbes granulométriques des tannes herbues dans le domaine insulaire.....	372
Graphique 58: Courbes leptokurtiques des sédiments à Thialane, Bassar et à Diamniadio sud	374
Graphique 59: Courbes granulométriques des tannes herbues dans le domaine continental.	375
Graphique 60: : Courbes leptokurtiques des sédiments à Ndimiro et à Nawdourou	377
Graphique 61: Courbes granulométriques des cordons dans le domaine insulaire.	386
Graphique 62: Courbes leptokurtiques des sédiments à Niodior et à Dionewar ouest	388
Graphique 63: Courbes granulométriques des cordons dans le domaine continental.	389
Graphique 64: Courbes leptokurtiques des sédiments à Palmarin Nguéthie et à Palmarin Diakhanor	391
Graphique 65: Courbes granulométriques des vallées fossiles.	400
Graphique 66: Courbes leptokurtiques des sédiments à Ngalagne et à Bak mboytolé	401
Graphique 67: évolution d'ensemble des unités morphologiques	413
Graphique 68: espèces dominantes dans la FC de Samba Dia.....	456
Graphique 69: espèces dominantes dans la FC de Djilor.....	458
Graphique 70: espèces dominantes dans la FC de Djilor.....	458
Graphique 71: espèces dominantes dans la FC de Djilor.....	458
Graphique 72: espèces dominantes dans la FC de Djilor.....	458
Graphique 73: espèces dominantes dans la FC de Djilor.....	458
Graphique 74: Graphique 68 : espèces dominantes dans la FC de Djilor.....	458
Graphique 75: espèces dominantes dans la Forêt Classée de Sokone.....	465
Graphique 76: Situation de la production de plantes entre 2006 et 2011, ...	478
Graphique 77: Situation de la plantation massive reboisée entre 2006 et 2011.....	478
 Figure 1: localisation et orientation des flèches sableuses sur le littoral Sénégal – Bissau-Guinéen.	21
Figure 2: dynamique et segmentation du littoral sénégal-mauritanien (modifié). Ibrahim Birame Ndébane Faye (2010).....	22
Figure 3: localisation de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum.....	44
Figure 4: Courbes de fréquences à partir des poids simples	68
Figure 5: Courbes de distribution granulométrique et des poids cumulés	69
Figure 6: organigramme de la méthodologie pour l'extraction des images et la confection des cartes.	74
Figure 8: Le Paléo réseau du Sine/Saloum/Khombole	93
Figure 9: rétrécissement des bandes climatiques vers le Sud de 18 000 ans à aujourd'hui	121
Figure 10: Balancement des isohyètes 400 à 1200 mm en Afrique de l'Ouest, de 1922 à 1980	127
Figure 11: Balancement de l'isohyète 500 mm en Afrique de l'Ouest avant et pendant les sécheresses de 1968 à 1983, ...	128
Figure 12: Repli des isohyètes 1000 à 150 mm vers le Nord depuis la sécheresse de	130
Figure 13: Déplacements du Front Intertropical au cours de l'année	132
Figure 14: Position des isohyètes Période 1919-1993 (32stations)	134
Figure 15: Circulation moyenne des alizés et précipitations de 1971 à 2000	135
Figure 16: Migration de l'équateur météorologique.	136
Figure 17: zones affectées par les moussons dans le monde en janvier et juillet et la direction moyenne des flux d'air	137
Figure 18: les régions climatiques au Sénégal (période 1961-1990)	140
Figure 19: migrations du FIT en Afrique occidentale (Rebert 1983).	141
Figure 20: Flux atmosphériques et migration saisonnière de la zone de convergence intertropicale en Afrique de l'Ouest	142
Figure 21: domaines climatiques (2007)	143
Figure 22: Évolution des pluies dans le Sahel (1950-2000) :	170
Figure 23: Evolution comparée des isohyètes sur le Sénégal de 1931 à 1990	207

Figure 24:Relation entre les observations des brumes sèches et les variations interannuelles des précipitations : (Nouaceur, 1996).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 25: principaux types de côtes au Sénégal (Niang I 1995)	214
Figure 26: bancs et affleurements rocheux sur le plateau Continental de Dakar à 12°N.....	217
Figure 27: répartition des lutites sur plateau continental de Dakar à 12°N.....	219
Figure 28: Répartition des sables moyens (mode 160 à 500µm) sur Le plateau continental au sud de Dakar Barusseau et al (1988)	220
Figure 29: Circulation océanique de surface dans l’atlantique tropical ouest.....	224
Figure 30: principales directions des courants de surface en saison chaude et froide de Joal au cap Roxo : (Rebert J P 1977) cité par Diop E S (1986)	226
Figure 31: régime des masses d’eau de surface au large de Rivières du Sud.	228
Figure 32: Les masses d’eaux au large du Sénégal.....	229
Figure 33: évolution de la flèche de Sangomar et de la côte adjacente	251
Figure 34: Evolution du système littoral du Saloum	252
Figure 35: état général de la flèche de Sangomar de 1986 à 1991.....	253
Figure 36: Evolution de la ligne de rivage à Djifère : Juillet 1991-Décembre	258
Figure 37: Migration et évolution de la pointe de Sangomar entre 1927 et 1995.....	259
Figure 38: embouchure du Saloum d’après bouteiller (1891), In Diara M (1999)	262
Figure 39: bathymétrie de l’embouchure du Saloum en 1930 et 1950	265
Figure 40: bathymétrie de l’embouchure du Saloum en 1987 et 1988	266
Figure 41: représentation de la marée	273
Figure 42: courbes d’évolution du flot et du jasant	274
Figure 43: courbes d’évolution du flot et du jasant	275
Figure 44: Suivi de la rupture de Sangomar	277
Figure 44: évolution de la ligne de rivage de l’île aux bœufs entre 1954 et 1989.....	291
Figure 45: zonation végétale de la mangrove sous climat équatorial (Lebigre, 2004) cité par Sakho I (2011)	320
Figure 46: Cordons sableux formés au sud du Bandiala depuis 1954	383
Figure 47: déficits et excédents des précipitations de 1941 à 1982 en Afrique de l’ouest. Mainguet M (1995).	419
Figure 48: forêt classée de Djilor :	457
Figure 49:forêt classée de Koutal	459
Figure 50: forêt classée de Sokone	464
Figure 51: les moyens à mettre en œuvre contre l’érosion	493
 Carte 1: localisation de l’estuaire et de ses bordures.	39
Carte 2: localisation des arrondissements.....	40
Carte 3: localisation des communes.....	41
Carte 4: Modèle Numérique de Terrain de l’espace étudié	42
Carte 5: les données géologiques du bassin du Saloum.....	83
Carte 6: échantillons de villages avec puits d’eau saumâtre	103
Carte 7: échantillons de villages avec puits d’eau saumâtre	104
Carte 8: échantillons de villages avec puits d’eau saumâtre	104
Carte 9: échantillons de villages avec puits d’eau douce	105
Carte 10: Réseau hydrographique saumâtre.	107
Carte 11: Réseau hydrographique saumâtre.	108
Carte 12: Réseau hydrographique saumâtre	109
Carte 13: Réseau hydrographique saumâtre.	109
Carte 14: Réseau hydrographique saumâtre.	110
Carte 15: Réseau hydrographique saumâtre.	110
Carte 16: réseau hydrographique fossile dans les régions de bordures.....	115
Carte 17: Pluviométrie et zones climatiques des régions semi-arides de l’Afrique de l’ouest. (Translation des isohyètes et la zonation climatique).....	133
Carte 18: domaines climatiques du bassin versant et des régions de bordures	209
Carte 19: Fonds marins de la Petite Côte du Sénégal	221
Carte 20: profondeurs dans le Saloum et le Diomboss	270
Carte 21: profondeurs dans le Bandiala.....	270
Carte 22: profondeurs dans le Sine	271
Carte 23: l’ouverture de la brèche de 1992.....	278
Carte 24: l’ouverture de la brèche de 2003.....	279
Carte 25: l’ouverture de la brèche de 2014.....	280

Carte 26: paysages littoraux en 1984.....	282
Carte 27: paysages littoraux en 1989.....	283
Carte 28: paysages littoraux en 2010.....	284
Carte 29: flèche de Dionewar en 2010.....	285
Carte 30: évolution de la flèche de Dionewar de 1992 à 2011	286
Carte 31: bancs de sable du droit de Dionewar aux bouches du Diomboss	287
Carte 32: localisation des zones d'engraissement et de démaigrissement, ...	288
Carte 33: variation des profondeurs le long du Saloum.....	294
Carte 34: variation des profondeurs le long des autres bolongs.....	296
Carte 35: Variations des profondeurs (m) dans le Ndangane	297
Carte 36: Variations des profondeurs (m) dans le Guilor/Bagal.....	298
Carte 37: Sites le long des bolongs de Ndangane et de Faoye	332
Carte 38:unités morphologiques le long du Saloum de Foundiougne à la Forêt Classée de Kousmar	333
Carte 39: unités morphologiques le long des bolongs de Ndangane et de Faoye	335
Carte 40: unités morphologiques dans le Sine (arrondissement de Tattaguine)	336
Carte 41: unités morphologiques entre le Diomboss et le Bandiala de Djinack Bara à Bambougar El hadji.	339
Carte 42: sites le long de la vallée fossile du Saloum	381
Carte 43: unités morphologiques de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum 1984.	392
Carte 44: localisation de quelques marigots d'eau douce dans le domaine insulaire.	394
Carte 45: réseau hydrographique et unités morphologiques entre le Diomboss et le fleuve Gambie	396
Carte 46: le réseau hydrographique du bassin d'Aga-Foua	399
Carte 47: la situation de 1986	408
Carte 48: la situation de 1999	409
Carte 49: la situation de 2006	411
Carte 50: la situation de 2014	412
Carte 51: sols du bassin versant et des régions de bordures	435
Carte 52: formations végétales dans le bassin versant du Saloum	453
Carte 53 : Forêts classées de l'espace d'étude	455
Carte 54: position des placettes dans la Forêt Classée de Koutal	460
Carte 55: position des placettes dans la Forêt Classée de Sangako	463
Carte 56: position des placettes dans la Forêt Classée de Sokone	465
 Tableau 1: échantillonnage dans les unités morphologiques du domaine insulaire.	57
Tableau 2: échantillonnage dans les unités morphologiques du domaine continental.	59
Tableau 3: classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du SPI, ...	71
Tableau 4: Collection ; images Landsat archives. Landsat 4- 5 TM.....	71
Tableau 5: coordonnées des palettes.....	72
Tableau 6: Grille d'identification et d'interprétation des principaux types d'unités	75
Tableau 7: contexte géologique et impacts naturels le long de la Petite Côte et des îles du Saloum.....	82
Tableau 8: La Succession des grandes étapes du Quaternaire	86
Tableau 9: L'évolution géomorphologique Antéquaternaire des bassins du Sénégal et de la Gambie.....	87
Tableau 10: échantillon quelques villages où sont rencontrés des puits d'eau saumâtre	102
Tableau 11: Longueurs de quelques rivières	114
Tableau 12: Caractéristiques hydrographiques du bassin versant du Sine-Saloum	114
Tableau 13: Diminution des précipitations en Afrique de l'Ouest et Centrale	125
Tableau 14: Fluctuations climatiques et phases de sécheresse au	129
Tableau 15: Amplitude du balancement des isohyètes à l'ouest de la longitude de Mopti.....	131
Tableau 16: coordonnées des stations climatiques dont les données sont utilisées	144
Tableau 17: directions et fréquences des vents en % ; station de Mbour de 1983 à 2012	147
Tableau 18: Fréquences des vents en % ; station de Fatick de 1993 à 2012.....	148
Tableau 19: Fréquences des vents en % : station de Kaolack de 1983 à 2012	151
Tableau 29: Caractéristiques des principaux types de houles	231
Tableau 30: fréquences directionnelles de la houle	231
Tableau 31: Classes de périodes en secondes et énergie de la houle	233
Tableau 32: pourcentage des houles selon la profondeur	233
Tableau 33: Composition de la marée au large du Sénégal :(Marégraphe situé à 14°16'N- 17°22'W)	236
Tableau 34: variations du marnage au Nord et au Sud des Rivières du Sud.....	238
Tableau 35: échelle météorologique (Sir F. Beaufort 1806)	240
Tableau 36: vitesses et hauteur des vagues.....	241
Tableau 37: Estimation de la cinématique de la flèche de Sangomar entre 1907 et 1987	254

Tableau 38: Estimation de la cinématique de la flèche de Sangomar de 1907 à 1991.....	255
Tableau 39: Estimation du déplacement des débits massiques sur le littoral Nord	256
Tableau 40: Evolution de la longueur de la flèche de Palmarin Diakhanor à l'extrémité distale.	256
Tableau 41: Evolution des phénomènes d'érosion et d'accrétion dans les îles du Saloum à partir des scènes Landsat et Spot	260
Tableau 42: : Evolution de la largeur de la brèche de Sangomar entre 1990 et 2010	260
Tableau 43: marnage de 1974 à 1987	263
Tableau 44: profondeur ; marigot de Ndangane août/septembre 1997	267
Tableau 45: profondeur ; marigot de Faoye août/septembre 1997	268
Tableau 46: profondeur ; marigot de Nganassaw août/septembre 1997	268
Tableau 47: profondeur en haute marée; Saloum août/septembre 2008	268
Tableau 48: profondeur le long du Saloum.....	269
Tableau 49: profondeur en haute marée; Diomboss août/septembre 2008	269
Tableau 50: profondeur en haute marée; Léba août/septembre 2008	271
Tableau 51: profondeur en haute marée; Sine, août/septembre 2008	271
Tableau 52: caractéristiques des houles au large de la Petite Côte entre janvier et juillet.....	272
Tableau 53: Cinématique du Lagoba	276
Tableau 54: Progression de l'ouverture de la brèche de 1989 à 2010	276
Tableau 55: Progression de l'ouverture de la brèche de 1992 à 2014	278
Tableau 56: Variations des profondeurs (m) dans le Saloum.	293
Tableau 57: Variations des profondeurs (m) dans le Sine	295
Tableau 58: Variations des profondeurs (m) dans le Ndangane	297
Tableau 59: Variations des profondeurs (m) dans le Diomboss	297
Tableau 60: Variations des profondeurs (m) dans le Bandiala	298
Tableau 61: Variations des profondeurs (m) dans le Guilor/Bagal.....	298
Tableau 62: échelle d'évaluation du degré de classement d'un sédiment	299
Tableau 63: des paramètres texturaux : Fond du chenal, domaine insulaire.....	302
Tableau 64: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules du fond des chenaux (domaine insulaire).....	303
Tableau 65: des paramètres texturaux : fond du chenal, (site sur terre ferme)	305
Tableau 66: des paramètres texturaux : fond du chenal, domaine continental.....	305
Tableau 67: Volume statistique (géométrique) : Particules du fond des chenaux (domaine insulaire)	306
Tableau 68: Volume statistique (géométrique) : Particules du fond des chenaux (domaine insulaire)	306
Tableau 69: Paramètres texturaux des berges et estrans, domaine insulaire.....	309
Tableau 70: Paramètres texturaux des berges et estrans, (domaine continental)	311
Tableau 71: Paramètres texturaux des berges et estrans, (domaine continental)	312
Tableau 72: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µ	312
Tableau 73: paramètres texturaux des bancs sableux et flèche.....	317
Tableau 74: : Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules des bancs sableux.....	317
Tableau 75: familles et genres de mangrove dans le monde.....	321
Tableau 76: typologie des formations de mangrove selon leur physionomie et leur composition floristique.	325
Tableau 77: familles genres et nombre d'espèces dominantes (Turmine V 2001)	326
Tableau 78: familles genres et nombre d'espèces minoritaires (Turmine V 2001)	326
Tableau 79: Processus morphogéniques affectant les marais à mangrove.....	327
Tableau 80: Datations sur des coquilles d'huîtres et d'arches.	348
Tableau 81: paramètres texturaux des vasières à mangrove dans le domaine insulaire.....	349
Tableau 82: paramètres texturaux des vasières à mangrove dans le domaine insulaire.....	350
Tableau 83: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules ; Vasières (domaine insulaire)	350
Tableau 84: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules ; Vasières (domaine insulaire)	350
Tableau 85: paramètres texturaux des vasières à mangrove dans le domaine continental.....	353
Tableau 86: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Vasières à mangrove (Domaine continental)	354
Tableau 87: Datations de coquilles d'huîtres prélevées de tanne	361
Tableau 88: Paramètres texturaux des tannes nus dans le domaine insulaire.	363
Tableau 89: Paramètres texturaux des tannes nus dans le domaine insulaire.	364
Tableau 90: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Tannes nus (domaine insulaire)	364

Tableau 91: Paramètres texturaux des tannes nus le long du Saloum.....	367
Tableau 92: Paramètres texturaux des tannes nus le long du Saloum.....	367
Tableau 93: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Tannes nus le long du Saloum.	368
Tableau 94: paramètres texturaux des tannes nus dans les autres secteurs	370
Tableau 95: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules. Tannes nus dans les autres secteurs.....	370
Tableau 96: paramètres texturaux des tannes herbues dans le domaine insulaire	373
Tableau 97: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules des tannes herbues dans le domaine insulaire.	373
Tableau 98: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules des tannes herbues dans le domaine continental	376
Tableau 99: paramètres texturaux des tannes herbues dans le domaine continental	376
Tableau 100: Datations sur des coquilles des cordons du nord	385
Tableau 101: paramètres texturaux des cordons dans le domaine insulaire	387
Tableau 102: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules des cordons dans le domaine insulaire.	387
Tableau 103: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm Diamètre des particules des cordons dans le domaine continental	389
Tableau 104: paramètres texturaux des cordons dans le domaine continental.....	390
Tableau 105: les différentes mares de la Commune de Djilass (Fatick).....	397
Tableau 106: Paramètres texturaux dans les vallées fossiles	400
Tableau 107: Volume statistique (géométrique) : calculs de 0,375 à 2,000µm	401
Tableau 108: Images satellitaires Landsat et SPOT utilisées.....	403
Tableau 109: Statistiques de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (1972 – 1986).....	404
Tableau 110: Statistiques de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (1986 – 2001).....	405
Tableau N°111; Statistiques de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (2001 – 2010).....	406
Tableau N°112: Synthèse de la dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (1972 - 2010)	406
Tableau N°113: Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 1984.....	407
Tableau N°114: : Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 1999	409
Tableau N°115: Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 2006	410
Tableau N°116: Statistiques de la dynamique des unités morphologiques dans l'ensemble du milieu en 2014	412
Tableau 117: Impacts physiques des changements climatiques et leurs conséquences en zone côtière	416
Tableau 118: Apports des cours d'eau allochtones du Sahel en m³/s	419
Tableau 119: Répartition des fluorures dans les aquifères du Sénégal	423
Tableau 120: utilisation des eaux souterraines	423
Tableau 121: déficit des besoins en eau (L).....	424
Tableau 122: bilan hydrique	425
Tableau 123: Irrigation et drainage.....	426
Tableau 124: Bassins versants et irrigation	432
Tableau 125: Périmètres, réserves et forêts classées du bassin versant du Saloum.	448
Tableau 126: Les Forêts Classées du département de Foundiougne.....	453
Tableau 127: Nombre de placettes par forêts.	454
Tableau 128: Reboisement de la mangrove dans la vallée Diofior Simal Roh (DIOSIRO) de 1997 à 2001	473
Tableau 129: Tableau récapitulatif du reboisement de la FIOD dans la vallée de DIOSIRO de 1997 à 2001.	474
Tableau 130: programme de reforestation année 2000	475
Tableau 131: Répartition des 109,3 Ha de la RNA selon les villages	478
Tableau 132: contraintes à l'aménagement de la vasière à mangrove	479
Tableau 133: contraintes à l'aménagement des tannes	488
Tableau 134: principales digues anti-sel.....	502
Tableau 135: Répartition des surfaces protégées par les digues anti sel.....	506
Tableau 136: Evolution des plantations de 1961 à 1999	509
 Photo 1: les îles de Bétenty.....	46
Photo 2: Adansonia digitata sur un cordon au droit de l'île de Gouk (2008)	47
Photo 3: Mangrove saine à Rhizophoracées à Thialane (2008).....	47
Photo 4: Huîtres sur les racines de palétuviers à Falia (2008)	49
Photo 5: appareil d'analyse granulométrique	63

Photo 6: appareil d'analyse granulométrique	64
Photo 7: Forte avancée de la mer à l'entrée de Dionewar	289
Photo 8: Bancs sableux le long du Saloum	290
Photo 9: magasin de dépôt d'arachide fonctionnel jusqu' en 1940 au Nord-est du village de Latmingué, au bord du Saloum.	295
Photo 10: mangrove saine le long du Léba	330
Photo 11: Mangrove saine le long du Léba	341
Photo 12: mangrove dégradée à Niam Diarokh	342
Photo 13: Mangrove dégradée au niveau de Dionewar	343
Photo 14: Mangrove dégradée au niveau de Fayako	344
Photo 15: tanne nu à Diaglé (le long du Sine) : taches blanches de sel.	358
Photo 16: tanne nu à Tanno Mack (village de Ndiémou le long du Sine) :Taches blanches de sel.	358
Photo 17: extension de tanne sur la savane à acacias. (Les acacias sont en plein tanne derrière le village Keur Aladji Kharendère.)	360
Photo 18: érosion vive au niveau du cordon de Dionewar avec microfalaie de plus de 1m	379
Photo 19: érosion vive au niveau du cordon de Dionewar avec microfalaie dévoilant les racines.	379
Photo 20: cordon surmonté de baobab et enserré par les eaux du Saloum à l'ouest de Ndangane Diène.	382
Photo 21: cordon le long du Bandiala entaillé par une microfalaie haute de plus de	384
Photo 22: érosion aux estrans de Dionewar	417
Photo 23: impacts de l'érosion hydrique à Djanké Souf (Malem Hodar)	439
Photo 24: impacts de l'érosion à Ndioum Nguenth (Malem Hodar)	439
Photo 25: Birkelane impacts de l'érosion dans la Commune de Ndiognick (village de Ngouye département de Birkelane.....	440
Photo 26: impacts de l'érosion dans l'île de Thialane (îles du Saloum)	441
Photo 27: dégradation anthropique de la FC de Djilor	458
Photo 28: échantillon de la forêt classée de Koutal	461
Photo 29: reboisement de mangrove à Néma bah/GIE Dioubo (2007)	473
Photo 30: Reboisement d'Avicennia à Fimela.....	476
Photo 31: pépinières et le reboisement des Avicennia.....	477
Photo 32: Ancien aménagement hydro-agricole des tannes du Saloum	483
Photo 33: Digue piste entre Keur Mboucki et Tchikat Boyenguel	490
Photo 34: Vallée de Senghor, pont barrage de Ndiop Ndienguene.....	490
Photo 35: Vallée de Médina Djikoye digue piste entre les villages	491
Photo 36: pont traversant la vallée fossile d'Aga-Foua	491
Photo 37: Vallées de Senghor photo et de Thiamène	492
Photo 38: mur de protection du village de Dionewar	495
Photo 39: Mur de protection de Niodior	496
Photo 40: barrage anti-érosion sur le marigot de Néma Bah et Gabion antiérosif sur la Néma.....	496
Photo 41: vanne de déversoir des crues de la digue anti-sel sur le marigot de Bignona en 2001	503
Photo 42: Digue anti-sel de Boyard	506
Photo 43: Petit foyer amélioré fonctionnant au bois dans l'Arrondissement de Koumpentoum	512
Photo 44: Grands Foyers améliorés à usage collectif dans l'Arrondissement de Koumpentoum.	513
Photo 45: exemple de biogaz dans l'Arrondissement de Koumpentoum.	513
Photo 46: exemple de biogaz dans le village de Sinthiou Mbaye Sy	514

Sommaire	1
Sigles et abréviations.....	5
Avant- propos.	9
Résumé :.....	12
Abstract:	13
Introduction générale :	14
Synthèse bibliographique.	25
Présentation générale du milieu	37
Conclusion	50

Problématique	51
Questions de recherche.....	54
Hypothèses de recherche :.....	54
Définition des concepts.....	55
La méthodologie.	56
Chapitre 1 : La tectonique et la paléogéographie quaternaire	77
Introduction	79
1.1. La tectonique.....	81
1.2. La paléogéographie quaternaire.....	85
1.2.1 L'Anté Holocène	85
1.2.2. Le Quaternaire Récent	89
1.2.3. La phase tchadienne	92
1.2.4. L'évolution Holocène.....	94
1.2.5. L'évolution au Subactuel et à l'Actuel	96
Conclusion.....	97
Chapitre 2 : les ressources en eaux.....	98
Introduction	99
2.1. La nappe du Continental Terminal.....	101
2.2. La nappe quaternaire.....	101
2.3. Les eaux de surface.....	105
2.3.1. Les eaux salées (cartes 12, 13, 14, 15,16, 17)	105
2.3.2. Les eaux douces.....	111
Conclusion partielle de la première partie.	115
Chapitre 3 : dynamique des conditions climatiques	117
Introduction	119
3.1. Evolution récente du climat en Afrique de l'ouest.....	119
3.2. Les mécanismes généraux:	137
3.3. Les éléments du climat	144
3.3.1. Les vents	144
3.3.1.1. Mbour (coordonnées de la station : 14°25'173"N/16°57'938"W)	145
3.3.1.2. Fatick (coordonnées de la station : 14°20'724"N/16°24'155"W).....	148
3.3.1.3. Kaolack (coordonnées de la station : 14°09'023'N/16°04'545"W).....	150
3.3.2. Variation interannuelle de l'insolation en heures au niveau des trois stations	153
Conclusion partielle.....	207
Chapitre 4 : les conditions océanographiques et estuariennes.....	210
4.1. Morphologie et Bathymétrie.....	212
4.2. Répartition des sédiments du plateau continental de la Petite Côte :	215
4.3. Les facteurs généraux des conditions océanographiques.	222
4.3.1. Courants et masses d'eau.....	222
4.3.2. Les houles	230

4.3.2.1. Houle du NW	232
4.3.2.2. La houle du SW (N180° à 230°E)	234
4.3.2.3. Caractères des houles sur la Petite Côte	234
4.4. Les marées	235
4.5. La dérive littorale	239
4.6. Les facteurs secondaires dans le système estuarien.	240
4.6.1. Les vagues.....	240
4.6.2. Les autres types de courants.	242
Conclusion	244
Chapitre 5 : Impacts sur la dynamique côtière et estuarienne	245
Introduction	246
5.1. Modifications de la dynamique aérologique.	246
5.2. Modifications de la dynamique hydrologique.	247
5.2.1. Rupture de la flèche de Sangomar	248
5.2.1.1. Cinématique de la flèche de Sangomar.....	249
5.2.1.2. Les facteurs hydro-climatologiques.....	261
5.2.1.3. Les facteurs hydrodynamiques.....	261
5.2.2. Bathymétrie et courantométrie	263
5.2.2.1. Bathymétrie.....	263
5.2.2.2. Courantométrie.....	272
5.2.3. Les facteurs géomorphologiques	276
5.2.3.1. La formation de flèches	281
5.2.3.2. La formation de bancs sableux.	287
Chapitre 6 : les unités morphologiques : localisation, caractérisation, sédimentologie et dynamique.	292
Introduction.	293
6.1. Localisation, caractérisation et sédimentologie	293
6.1.1. Le fond des chenaux : variation des profondeurs.....	293
6.1.2. Sédimentologie	299
6.2.1. Le fond des chenaux.....	300
6.2.1.1. Domaine interne	300
6.2.1.2. Domaine externe.	303
6.1.2. Les berges et les estrans	308
6.1.2.1. Localisation et caractérisation.....	308
6.1.2.2. Sédimentologie	308
6.1.2.2.1. Domaine interne.	308
6.1.2.2.2. Domaine continental.	310

6.1.3. Les bancs sableux.....	314
6.1.3.1. Localisation et caractérisation.....	314
6.1.3.2. Sédimentologie	316
6.1.4. Les vasières à mangrove.....	318
6.1.4.1. répartition	318
6.1.4.2. Sédimentologie.	348
6.2.4.1 dans le domaine insulaire	348
6.2.4.2. dans le domaine continental	352
6.1.5. Les tannes	355
6.1.5.1. Localisation et caractérisation.....	355
6.1.5.2. Sédimentologie	361
6.1.5.2.1. Tannes nus.....	362
a. domaine insulaire	362
b. le long du Saloum	365
c. le long du Sine, du Ndangane, du Diomboss, du Bandiala et du Guilor.	369
6.1.5.2.2. Tannes herbus	372
a) domaine insulaire.....	372
b) domaine continental.....	375
6.1.6. Les cordons.....	377
6.1.6.1. Localisation et caractérisation.....	378
6.1.6.2. Sédimentologie	385
a) domaine insulaire.....	386
b) domaine continental.....	388
6.1.7. Les vallées fossiles	393
6.1.7.1. Localisation et caractérisation.....	393
6.1.7.2. Sédimentologie.	399
Conclusion.....	402
6 .2. Dynamiques des unités morphologiques des années 1980 aux années 2010.	403
6 .2.1. La mangrove du Saloum	403
6 .2.2. Dans l'ensemble de l'aire d'étude de 1986 à 2014	407
6 .2.2.1. La situation de 1986	407
6 .2.2.2. La situation de 1999	408
6.2.2.3. La situation de 2006	410
6.2.2.4. La situation de 2014	411
Conclusion.....	413
Chapitre 7: Impacts géomorphologiques et environnementaux dans les régions de bordures.	414

Introduction.	415
7.1. Les impacts géomorphologiques.	416
7.2. Les impacts sur les ressources hydriques.	418
7.2.1. Les eaux de surface.	420
7.2.2. Les eaux souterraines	421
Conclusion.	429
7.3. Les impacts sur la nature et l'état des sols	429
7.3.1. Les sols de mangroves.	429
7.3.2. Les types de sols du Sine-Saloum	433
7.3.3. Sols du bassin versant et des régions de bordures	433
7.3.4. La dégradation des sols au niveau du bassin arachidier	436
Conclusion :	441
7.4. Les impacts sur la nature et l'état de la végétation	442
7.4.1. Sur les forêts de mangroves.	444
7.4.2. Sur les autres types forêts.	445
7.4.2.1. Sur la répartition spatiale des forêts	445
7.4.2.2. Sur l'évolution des Forêts classées des années 1930 aux années 2010.	448
Chapitre 8 : l'aménagement intégré des unités morphologiques et les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.	467
Introduction	468
8.1. L'aménagement intégré des unités morphologiques.	470
8.1.1. Les vasières à mangrove	470
8.1.2. Les tannes.	481
8.1.2.1. L'aménagement des terres salées.	481
8.1.2.2. Maîtrise des eaux de surface.	482
8.1.2.3. Dessalement	483
8.1.2.4. Amélioration de la fertilité	484
8.1.2.5. Mesures de récupération des terres salées par reboisement.	485
8.1.3. Les vallées fossiles (vallée fossile du Saloum au village de Tounn et du Sine à Mbak Mboye Tolé).	489
8.2. Les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.	492
8.2.1. La lutte contre l'érosion	492
8.2.2. La lutte contre la salinisation.	501
Conclusion générale.	515
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	519
Annexe 1 Courbes semi- logarithmiques des unités morphologiques.	564
Annexe 2	569

Liste des illustrations	585