

---

## ETUDE ANALYTIQUE DE LA DYNAMIQUE DES UNITES MORPHO-PEDOLOGIQUES DE L'ESTUAIRE DU FLEUVE CASAMANCE ET LEURS IMPACTS DANS LE DEPARTEMENT D'OUSSOUYE (ZIGUINCHOR, SENEGAL)

Maguette NDIONE

Docteur en Géomorphologie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, [ndionemaxim@gmail.com](mailto:ndionemaxim@gmail.com)

### Résumé

La manifestation des changements climatiques se traduit par une sécheresse persistante dans l'estuaire du fleuve Casamance durant ces dernières décennies. La rareté de la pluie, couplée avec la remontée des marées dans l'hinterland a engendré des phénomènes de dégradations physico-chimiques diminuant ainsi les rendements agricoles. Cette contribution propose d'étudier les impacts des modifications physico-chimiques des ressources pédologiques dans le département d'Oussouye. La démarche méthodologique adaptée s'appuie sur une analyse granulométrique et du pH et de la CE des unités morpho-pédologiques échantillonnées et une analyse des impacts biophysiques et socio-économiques avec des enquêtes de terrain. Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que les limons prédominent largement avec des proportions variantes entre 50% et plus de 70 % sur les plateaux, les bas-fonds et les bolongs contre une présence modérée de sables dépassant les 20% et de -4% d'argiles. Le pH moyen des sols variant entre 2,3 à 6,2 montre des sols très acides. Les variations spatiales du pH sont faibles, de l'ordre de 0,1 entre les Bolongs et les bas-fonds et 3,8 entre les bas-fonds et les plateaux. L'évolution de la CE révèle une globale de 3371 $\mu$ S/cm dans les Bolongs, 3441,9 $\mu$ S/cm dans les Bas-fonds et des comprises entre 500 et 1000 $\mu$ S/cm dans les plateaux. Les unités morphologiques sont constituées de sols légèrement salés à des sols extrêmement salés. La dynamique des unités morphologiques se traduit par une dégradation des terres dont une bonne partie est due aux effets de la salinité et de l'acidité.

**Mots clés :** *Analytique, dynamique, physico-chimique, unités morphologiques, impacts*

### Analytical study of the physicochemical dynamics of the morpho-pedological units of the Casamance River estuary and their impacts in the department of Oussouye (Ziguinchor, Senegal)

#### Abstract

Climate change has manifested itself in persistent drought in the Casamance River estuary over the past few decades. The scarcity of rain, coupled with rising tides in the hinterland, has led to physical and chemical degradation, thereby reducing agricultural yields. This contribution proposes to study the impacts of physico-chemical changes in soil resources in the department of Oussouye. The appropriate methodological approach is based on a granulometric analysis and pH and EC analysis of the sampled morpho-pedological units and an analysis of the biophysical and socio-economic impacts using field surveys. The results of the granulometric analysis show that silt predominates, with proportions varying between 50% and over 70% on the plateaus, lowlands, and bolongs, compared to a moderate presence of sand exceeding 20% and clay at -4%. The average soil pH varies between 2.3 and 6.2, indicating very acidic soils. Spatial variations in pH are low, ranging from 0.1 between the bolongs and the shallows to 3.8 between the shallows and the plateaus. The evolution of EC reveals an overall value of 3371 $\mu$ S/cm in the bolongs, 3441.9 $\mu$ S/cm in the lowlands, and between 500 and 1000 $\mu$ S/cm in the plateaus. The dynamics of the morphological units are reflected in land degradation, much of which is due to the effects of salinity and acidity.

**Keywords :** *Analytical, dynamics, physicochemical, geomorphological units, impacts.*

## **Introduction**

La dégradation des sols touche la majeure partie des terres émergées du globe. Elle affecte 33 % de la surface terrestre soit au moins 400 millions d'hectares touchés par la salinisation (Legros, 2009). La dégradation des unités morphologiques en particulier, par la salinisation, touche plus de 1700 millions d'hectares de terre du Sénégal sur les 800.000.000 d'hectares de terres cultivables (LADA, 2009-2010). Elle constitue une menace grave qui pèse sur la stabilité et la fonction des terres agricoles dans un contexte où la sécurité alimentaire est loin d'être atteinte dans les pays en voie de développement.

Les écosystèmes humides subissent également des dégradations depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle si bien que leur recul est devenu très significatif au cours des 25 dernières années. Si la sécheresse est un des facteurs fondamentaux des perturbations hydro-écologiques observées, les réductions des espaces inondés, la remontée de la langue d'eau salée, l'appauvrissement de la biodiversité, l'accentuation de la pression humaine concourent très largement à l'accélération de ce processus de régression qui n'est pas spécifique à l'Afrique (BASSENE A O, 2017). La salinisation et l'acidification s'accroissent, gagnent en espace et menacent de plus en plus certaines activités comme l'agriculture et l'élevage. La réduction des terres arables dans la basse Casamance a aussi poussé la population à défricher de nouveaux espaces cultivables entre autres conséquences, la perte de la végétation, la pollution des eaux, la dégradation physico-chimique des sols. Elle a également conduit à une détérioration du tissu économique du Département d'Oussouye.

Cet article se propose de faire une étude analytique de la dynamique physico-chimique des unités morphologiques et leurs impacts dans le département d'Oussouye. Il s'agit d'abord de faire une analyse des caractéristiques physico-chimiques des unités morphologiques et une analyse des impacts biophysiques et socio-économiques de la dynamique des unités morphologiques par suite du traitement des données d'enquêtes socio-économiques.

### **1. Présentation du milieu d'étude**

Le Département d'Oussouye reposant sur la moyenne Casamance est compris entre les longitudes 16°30' /16°40' Ouest et les latitudes 12°20' / 12°30' Nord (figure 1). Il est limité au Nord par le fleuve Casamance, au Sud par la République de Guinée Bissau, à l'Ouest par l'océan Atlantique et à l'Est par le Département de Ziguinchor. Il couvre 891 km<sup>2</sup> et comprend cinq (5) communes que sont : Mlomp, Oukout, Oussouye, Santhiaba Manjacque et Diémbéring. Il se caractérise par un relief de vaste bas plateau ne dépassant pas 40 mètres avec un climat de type sud-soudanien avec une tendance guinéenne et des sols composés essentiellement de sols du domaine fluviomarin, de sols de plateaux, de sols minéraux et de sols peu évolués. Sa population est estimée à 48.331 habitants soit une densité de 54 habitants au km<sup>2</sup>. Les activités économiques les plus importantes sont l'agriculture, l'élevage et la pêche.

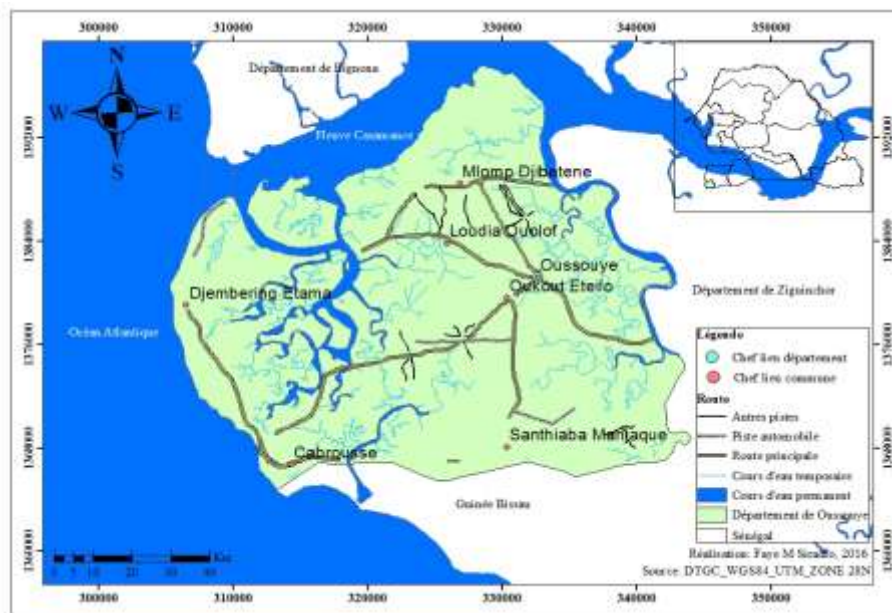


Figure 1 : Localisation du département d'Oussouye

## 2. Méthodologie

La démarche méthodologique repose sur une campagne de collecte d'échantillons de sols pour déterminer les proportions granulométriques, les teneurs en pH et en conductivité électrique, et de collecte de données quantitatives et qualitatives à travers des enquêtes de perceptions sur les impacts socio-économiques et environnementaux engendrés par les phénomènes d'acidification et de salinisation des parcelles agricoles.

### 2.1. Protocole de collecte des échantillons de sols

Pour la détermination des paramètres physico-chimiques des formations morpho-pédologiques, des échantillons de sols ont été prélevés. A la raison de l'hétérogénéité des formations morpho-pédologiques du secteur d'étude, le prélèvement a suivi un transect orienté à une toposéquence recoupant les Bolong, les bas-fonds et les plateaux. L'échantillonnage a nécessité des sachets en plastique, une tarière, un centimètre, un GPS de marque garmin, des étiquettes autocollantes et des marqueurs indélébiles, des gants, une truelle et un téléphone portable servant d'appareil de photos. Le protocole consiste à prélever des échantillons de sols en surface variant entre 0 et 20 cm (N1) et en profondeur allant de 20 à 40 cm (N2) à l'aide d'une carotte longue de 1 m. Vingt et un (21) sites ont prélevé soit un total de 126 échantillons traités (figure 2).

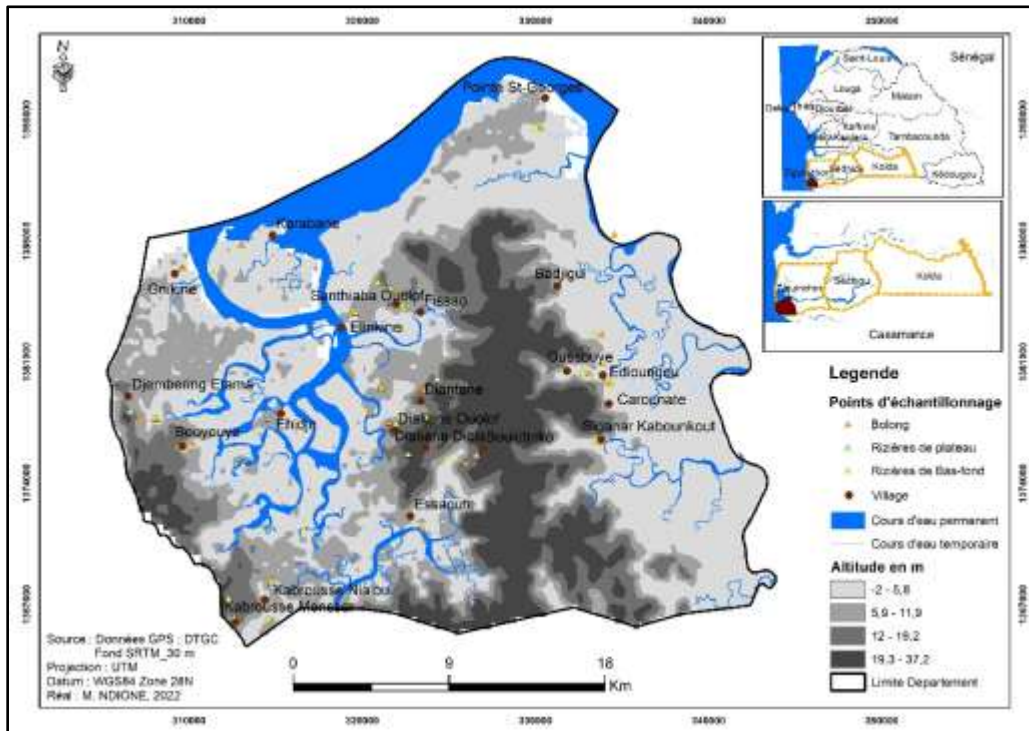


Figure 2 : Repères des points d'échantillonnage

Pour éviter l'érosion et le transport des particules fines en période de haut débit sur le fleuve Casamance et ses affluents, l'échantillonnage a été réalisé au mois de mai 2019 durant la période d'étiage.

Les échantillons de sols ainsi collectés, ont été amenés au laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques granulométriques et leurs niveaux d'acidité et de salinité.

## 2.2. Analyses granulométriques des échantillons prélevés

L'objectif de ces prélèvements d'échantillons de sols vise à analyser la texture granulométrique en déterminant les divers faciès existants. Dans ce contexte, les échantillons collectés ont été amenés au laboratoire de l'INP (Institut National de Pédologie). La structure a déterminé les proportions granulométriques des échantillons à travers la méthode de la Pipette de Robinson et la méthode de tamisage.

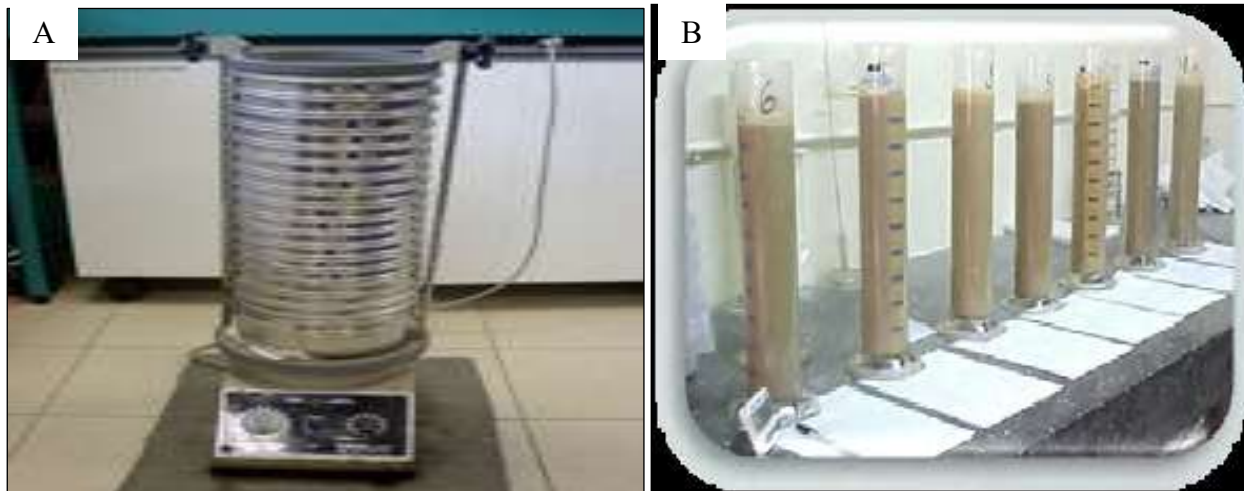
### 2.2.1. Le protocole de la Pipette de Robinson

La méthode de la Pipette de Robinson (photo suivante) permettant de séparer les argiles des limons grossiers et des limons fins (LG (63 à 20  $\mu\text{m}$ ) LF 20 à 2  $\mu\text{m}$ , A <2  $\mu\text{m}$ ).

La séparation des particules fines se fait à l'aide de la Pipette de Robinson (photo 1). Le protocole consiste à :

- placer 20 g de terre fine à l'aide d'une balance électrique (photo 1 B) dans un erlenmeyer de 800 ml avec 100 ml d'eau oxygénée ;
- laisser reposer ce mélange pendant une nuit et chauffer sous une hotte jusqu'à ce que la matière organique soit totalement détruite ;
- ajouter 25 ml d'hexaméthaphosphate de sodium puis ajuster avec de l'eau de robinet jusqu'au trait de jauge ;
- verser le contenu de l'erlenmeyer dans l'éprouvette et réajuster jusqu'au trait de jauge puis agiter ;
- après 4 minutes, faire le premier prélèvement (limon + argile) dans un bêcher ;

- attendre 7 h pour faire le second prélèvement (argile) ;
- mettre les béchers dans l'étuve à 105 °C pendant une nuit ;
- peser le contenu des tubes à l'aide de la balance de précision.



Crédits photos : M. NDIONE au Laboratoire INP, 2022

Planche de photos 1 : colonne de tamis et la pipette de Robinson du labo de l'INP

### 2.2.2. Protocole de la méthode de Tamisage

Une superposition de 17 colonnes de tamis aux mailles dégradées; 2000  $\mu\text{m}$  (2 mm) ; 1000  $\mu\text{m}$  (1 mm) ; 800  $\mu\text{m}$  (0,8 mm) ; 630  $\mu\text{m}$  (0,63 mm); 500  $\mu\text{m}$  (0,5 mm) ; 400  $\mu\text{m}$  (0,4 mm); 315  $\mu\text{m}$  (0,315 mm) ; 250  $\mu\text{m}$  (0,25 mm) ; 160  $\mu\text{m}$  (0,16 mm); 125  $\mu\text{m}$  (0,125 mm) ; 100  $\mu\text{m}$  (0,1 mm) ; 80  $\mu\text{m}$  (0,08 mm) ; 63  $\mu\text{m}$  (0,063 mm), 50  $\mu\text{m}$  (0,05 mm); 40  $\mu\text{m}$  (0,04 mm) ; 20  $\mu\text{m}$  (0,02 mm) ; et 2  $\mu\text{m}$  (0,002 mm) a permis de trier les diverses fractions des sédiments prélevés (photo 1A).

Le protocole de tamisage consiste à placer ces 100g de sables de plage sur les colonnes de tamis superposés. De ce fait avec un agitateur électrique, les colonnes de tamis sont remuées sur une durée de 10 mn d'horloge à 60 vibrations la minute, tous les refus accueillent les fractions idéales. Puis, après tamisage, le volume sédimentaire de chaque refus est mesuré à la balance de précision pour déterminer le pourcentage de chaque fraction de sables marins afin de déterminer les populations dominantes et/ou minoritaires. Le résultat, illustré sous forme de courbe semi-logarithmique, est une distribution de particules en volume.

Pour le calcul et l'analyse des différentes fractales que sont l'indice de classement(Q), l'indice d'asymétrie (Skewness Ski), le coefficient d'angulosité (=kg) et la taille moyenne (MZ), les méthodes modernes de Folk & Ward (1957) ont été adoptées.

### 2.3. Protocole d'analyse de la Conductivité électrique (CE) et du pH

Pour la caractérisation des éléments chimiques, le pH et la CE des échantillons prélevés ont été déterminés. Le pH et la CE sont déterminés par une solution en suspension de (50 ml) et 1/10 ou par l'extrait saturé (CE). Après tamisage de à 2 mm, nous avons prélevé 20 g de sol, puis mis de l'eau distillée (50 ml pour le pH et 200 ml pour la CE) et avons agité pendant 1 heure pour pH et plus de 30 mn pour la CE et avec le pH-mètre et le conductimètre de laboratoire nous avons enregistré les résultats.

**Tableau I : Normes d'interprétation de la CE et du pH**

Ph	Caractéristiques	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Caractéristiques
< 4,5	Extrêmement acide	<250	Non salin
4,5-5,0	Très fortement acide	250-500	Légèrement salin
5,1-5,5	Fortement acide	500- 1000	Salin
5,6-6,0	Moyennement acide	1000-2000	Très salin
6,1-6,5	Faiblement acide	>2000	Extrêmement salin
6,6-7,3	Neutre		
7,4-7,8	Faiblement alcalin		
7,9-8,4	Moyennement alcalin		
8,5-9,0	Fortement alcalin		
> 9,0	Très fortement alcalin		

Source : Bocoum 2004

#### 2.4. Protocole de recueil des données quantitatives et qualitatives

Un questionnaire et des guides d'entretien établis avec le logiciel Sphinx ont été soumis à la population locale et aux différents acteurs étatiques et non étatiques, afin de recueillir leurs impressions sur les impacts socio-économiques et environnementaux de la dégradation des unités morphologiques. La méthode d'enquête repose sur un échantillonnage probabiliste aléatoire simple en considérant 33% des ménages dans chacun des villages et/ ou quartiers ciblés. Sur un total ménage de 3888 enregistrés par l'ANSD (2013) et sur 20 localités ciblées dans les 5 Communes que compte le Département d'Oussouye ; seuls 618 ménages ont été enquêtés. Dans la Commune de Mlomp, 4 villages ont été ciblés avec un échantillon enquêté de 255 ménages soit 20,2% de l'échantillon total. Les données collectées dans l'enquête socio-économique et les traitements physico-chimiques ont fait l'objet d'un traitement avec les outils informatiques et/ ou logiciels suivants : KhronoStat, Excel, Sphinx.

### 3-Résultats

#### 3.1. Résultats de l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent la distribution granulométrique des sédiments des bolongs, des bas-fonds et des plateaux.

##### 3.1.1. Distribution granulométrique des sédiments des Bolongs

La distribution globale des sédiments dans les Bolongs montre une prédominance notoire des limons qui représentent 79,7% en surface et 77,77% en profondeur en moyenne. Les limons grossiers plus représentatifs en constituent 45,09% du NB1 et 47,13% du NB2. La quantité totale de sable est partout moins de 20%. Ils représentent des proportions respectives de 18,25% et 19,9% de BN1 et BN2. La fraction sableuse est prédominée par les sables grossiers occupant 4,82% en surface et 4,62% en profondeur des échantillons. En ce qui concerne la fraction très fine, les argiles représentent 1,41% de l'échantillon BN1 et 1,42% de celui de BN2. Par ailleurs, cette distribution granulométrique sur les Bolongs prédominée par des sédiments vaseux (< 0,063 mm) traduit des conditions hydrodynamiques calmes de l'estuaire de la Casamance.

Ainsi le calcul des paramètres texturaux basé sur la méthode de Folk and Ward, le tableau 2 révèle que les tailles moyennes des sédiments (MZ) varient entre -4,777 en surface et -4,793 en profondeur. L'indice de classement ou écart type ( $\sigma$ ) indique que les sédiments sont partout très mal classés. Les coefficients d'asymétrie ( $Skz$ ) obtenus sont globalement positifs et platikurtiques, et tendent vers les particules fines avec respectivement des moyennes de 0,518 dans BN1 et 0,519 dans BN2. Pour l'indice de kurtosis, il indique que le degré d'aplatissement de la distribution des sédiments qui est très mal classé avec un  $Kg > 1$  partout.

**Tableau II : Les indices granulométriques des échantillons de Bolongs**

	BN1 (0-20 cm)	BN2 (20-40 cm)
MEAN ( $MZ$ ) :	-4,777	-4,793
SORTING ( $\sigma$ ) :	2,337	2,329
SKEWNESS ( $SKI$ ) :	0,518	0,519
KURTOSIS ( $KG$ ) :	1,45	1,451

Source : Résultats des analyses granulométriques

Les courbes granulométriques (fig.1) montrent une concentration des sédiments variant entre les fractions  $2\mu\text{m}$  et  $80\mu\text{m}$ . Elles indiquent une prédominance des particules fines avec une forte proportion de limons de tailles variant entre 4 et  $63\mu\text{m}$ . Cette présence massive de limons (limon grossier et limon fin) avec une forte dominance dans tous les niveaux échantillonnés (BN1 et BN2), révèle une décantation engendrée par les conditions calmes de l'estuaire. Mais la présence modérée de la fraction sableuse indique des conditions hydrodynamiques agitées temporaires de l'estuaire du fleuve Casamance.

Globalement, les bolongs de la partie sud de l'estuaire de la Casamance connaissent une sédimentation de type polymodal très mal trié.

### 3.1.2. Distribution granulométrique des sédiments dans les Bas-fonds

Dans les bas-fonds, les analyses granulométriques montrent globalement une prédominance des particules limoneuses avec une  $g$  comprise entre  $4\mu\text{m}$  et  $63\mu\text{m}$ . Elles représentent plus de 50% de la quantité totale des sédiments collectés. Sur les échantillons de surface des bas-fonds (BF1), les limons grossiers occupent en moyenne 30,925% des échantillons contre 22,98% de limons fins. Sur l'horizon 20-40 cm, les particules limoneuses représentent 53,49% dont 32,36% de limons grossiers et 21,13 de limons fins. Par contre sur les bas-fonds, la population sableuse occupe en moyenne 28,41% des échantillons de surface et de 23% des échantillons prélevés en profondeur. Par ailleurs, l'argile constitue la particule la moins représentative avec respectivement en moyenne une quantité de 1,55% des échantillons de surface et 1,38% des échantillons de profondeur.

En outre, dans les Bas-fonds, la primauté des particules limoneuses dans la quasi-totalité des sites échantillonnés, révèle la prédominance des sédiments très sensibles de la décantation et de la suspension dans le processus de transport et de dépôt des particules dans un milieu hydrodynamique calme. Ainsi, les Bas-fonds de la partie de l'estuaire de la Casamance connaissent une accumulation de type polymodal.

Les valeurs des  $Mz$  variant entre -4,788 et -4,779 (tableau 3) indiquent de la prédominance des facteurs hydrodynamiques dans les processus de mise en place des sédiments. Les valeurs des  $Mz$  connaissent une baisse des moyennes de surface à celles de profondeur, ce qui indique la décroissance de la taille du grain moyen. Les ( $\sigma$ ) sont tous compris entre 2,33 et 2,337 et entre dans l'intervalle  $2 < \sigma < 4$  ce qui révèlent que dans tous les échantillons étudiés dans les Bas-fonds, les sédiments sont très mal classés aussi dans les horizons de niveau 1 que celles de niveau 2.

Les valeurs des indices de  $SKI$  montrent partout des coefficients d'asymétries positifs et platikurtiques avec une tendance vers +1 c'est à dire vers les particules fines. Les indices de Kurtosis sont partout supérieurs à 1 ( $KG > 1$ ) et varient entre 1,449 et 1,447 ce qui fait que, la distribution des particules sédimentaires est partout est mal triée aussi bien qu'en surface qu'en profondeur.

Tableau III : Les indices granulométriques des échantillons de Bas-fonds

	BN1 (0-20 cm)	BN2 (20-40 cm)
MEAN (Mz) :	-4,788	-4,779
SORTING ( $\sigma$ ) :	2,33	2,337
SKEWNESS (SkI) :	0,515	0,511
KURTOSIS (KG) :	1,449	1,447

Source : Résultats des analyses granulométriques

Les courbes granulométriques ci-dessous des échantillons de Bas-fonds montrent une concentration globale des sédiments entre 2 $\mu$ m et 800 $\mu$ m avec une prédominance de limon grossier, limon moyen et de sable fin. Les courbes présentent des caractéristiques différentes, reflétant les variations de la compétence des agents morpho-dynamiques.

### 3.1.3 Distribution granulométrique des sédiments sur les plateaux

Dans la partie sud de l'estuaire de la Casamance, les résultats d'analyse granulométrique montrent un faciès globalement vaseux sur les plateaux. Sur l'ensemble des échantillons prélevés en profondeur, les particules fines représentent en moyenne un total de 84,03% avec respectivement 47,68% de limon grossier, 35,44% de limon fin et 0,91% d'argile. Les fractions sableuses faiblement représentées occupent en moyenne une proportion de 14,99%. Mais en surface, les faciès sableux sont en moyenne évalués à 19,3% avec des moyennes respectives de 13,57%, 2,11% et 3,62% de sable fin, de sable moyen et de sable grossier. Par contre, les limons y prédominent avec un pourcentage moyen de 79,32% dont 46,54% DE limons grossiers et 32,78 de limons fins. Par ailleurs, les argiles présentes en état de lambeau occupent des proportions moyennes variant entre 0,24% (PN1) et 0,98% (PN2).

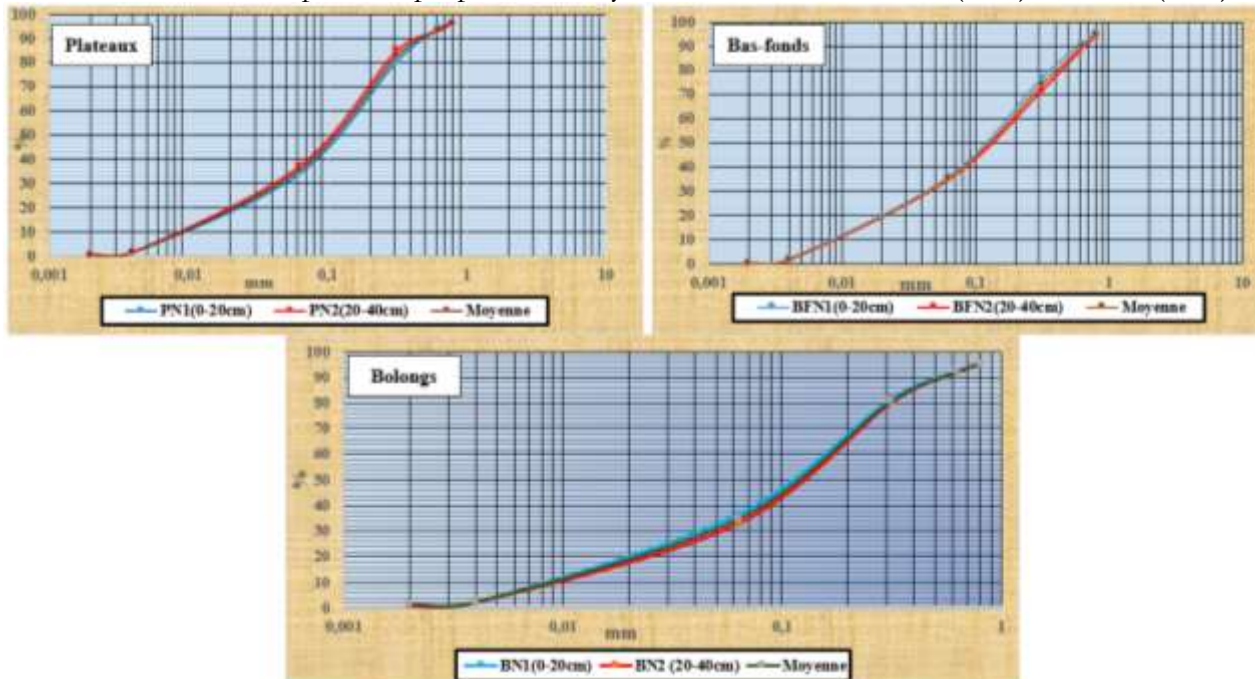


Figure 1 : Courbes granulométriques des échantillons des bolongs, bas-fonds et Plateaux

Les valeurs des Mz variant entre -402 et -4,788 (tableau 4) montrent la prédominance des facteurs hydrodynamiques dans les processus de mise en place des sédiments. Les valeurs des Mz connaissent une baisse des moyennes de surface à celles de profondeur, ce qui indique la décroissance de la taille du grain moyen. Les ( $\sigma$ ) sont tous compris entre 2,329 et 2,337 et entre dans l'intervalle  $2 < \sigma < 4$ , ce qui fait que dans les échantillons de plateau, les particules sont très mal classées aussi bien dans les strates



de niveau 1 que celles de niveau 2. Les valeurs des indices de *SKI* montrent partout des coefficients d'asymétrie positifs et platikurtiques avec une tendance vers +1, c'est à dire vers les particules fines. Les indices d'acuité sont partout supérieurs à 1 ( $Kg > 1$ ) ; ils traduisent que les particules sédimentaires sont partout mal triées, aussi bien qu'en surface qu'en profondeur.

**Tableau IV : Les indices granulométriques des échantillons de plateaux**

	PN1 (0-20 cm)	PN2 (20-40 cm)
MEAN ( <i>MZ</i> ) :	-4,802	-4,788
SORTING ( $\sigma$ ) :	2,329	2,33
SKEWNESS ( <i>SkI</i> ) :	0,521	0,520
KURTOSIS ( <i>KG</i> ) :	1,454	1,456

Source : Résultats des analyses granulométriques

Sur l'ensemble des échantillons prélevés sur les plateaux, les courbes granulométriques (figure. 1) sont partout sigmoïdes avec une forte concentration des facies dominants (les limons) entre  $4\mu\text{m}$  et  $63\mu\text{m}$ . Elles montrent que les apports par saltation et par suspension constituent les principaux facteurs de transport suivis du roulage (sable fin, sable moyen et sable grossier).

### 3.2. Résultats de l'analyse du pH et de la CE des échantillons de sols

#### 3.2.1. Caractéristiques du pH selon les unités morphologiques

La détermination du pH sur un transect bolongs-bas-fonds-plateaux a montré une légère variation du niveau acido-basique des sols selon les unités morphologiques et de l'horizon superficiel (0-20cm) vers l'horizon profond (20-40cm).

- **Distribution du pH dans les bolongs et vasières à mangrove**

Sur les bolongs échantillonnés de l'estuaire de la Casamance, le pH varie entre 2,3 et 6,2. Avec une moyenne de 3,45, sur l'horizon superficiel (0-20 cm) le pH varie entre 2,3 et 4,3, et révèle des sols extrêmement acides. La valeur minimale du pH estimée à 2,3 est observée à Kabrousse 2 alors que la valeur maximale évaluée à 4,3 est enregistrée à Karabane et à Diémbering. Mais, sur l'horizon profond (20 à 40 cm), les sols sont extrêmement acides avec un pH moyen estimé à 3,64. En effet, les sols sont fortement acides sur 5 échantillons. Il s'agit de ceux de Nikine (4,6), de Kabrousse 1 (6,2), de Diémbering (5,5), d'Ehidje (4,7) et d'Essaout (5,4). Mais, sur les 15 autres échantillons prélevés, le pH partout inférieur à 4,5 traduit des sols extrêmement acides.

- **Distribution du pH dans les bas-fonds**

L'analyse des résultats du pH des bas-fonds met en exergue une seule tendance allant des sols extrêmement acides aux sols fortement acides. En effet, en surface comme en profondeur, les valeurs moyennes du pH sont respectivement évaluées à 3,7 et 3,9 contre une moyenne globale de série de 3,8. La valeur minimale du pH a été enregistrée à 2,8 à Siganar alors que la valeur maximale du pH est estimée à 4,9 à Badjigui.

- **Distribution du pH dans les rizières de plateau**

L'analyse des résultats du pH dans les rizières de plateau révèle relativement une tendance similaire à celle des bas-fonds. Autrement dit, les plateaux sont constitués de sols extrêmement acides et de sols fortement acides avec une moyenne globale du pH estimée 5. Cependant, les plateaux enregistrent beaucoup plus de sols à caractère très fortement acides que de sols extrêmement acides. Sur 21 sites d'échantillons, 17 révèlent un pH supérieur ou égal à 4,5 caractérisant ainsi des sols très fortement acides. Par conséquent, seuls 4 sites ont des sols extrêmement acides. Il s'agit de Boukitinko (3,8), Kabrousse 2 (4,3), Diakène Diola (4,8) et Siganar (4,3).

### 3.2.2. Caractéristique de la CE selon les unités morphologiques

La détermination de la CE sur un transect bolongs-bas-fonds-plateaux a montré une légère variation du niveau de salinité des sols selon les unités morphologiques et de l'horizon superficiel (0-20cm) vers l'horizon profond (20-40cm).

- **Teneur de la CE dans les Bolongs et vasières à mangrove**

Avec une moyenne globale de 3371  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , les valeurs sont comprises entre 534  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Badjigui et 6880  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Siganar dans l'horizon 1 (0-20 cm), 1539  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Diakène Diola et 5480  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Oussouye dans l'horizon 2 (20-40 cm). En outre, les Bolongs échantillonnés sont constitués de sols légèrement salés à des sols extrêmement salés.

- **Teneur de la CE dans les bas-fonds**

L'évolution de la conductivité électrique dans les sols de bas-fonds dissous en fonction des horizons met en exergue différentes qualités de sols. Avec une moyenne globale de 3441.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , les valeurs sont comprises entre 301  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Badjigui et 50910  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Siganar dans l'horizon 1 (0-20 cm), 42,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Diakène Diola et 7200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Edjiougou dans l'horizon 2 (20-40 cm). Les sols des bas-fonds sont constitués majoritairement de sols salés avec une moyenne minimale de C.E enregistrée à Boukitinko à 224  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et une moyenne maximale de C.E à Siganar de 26540  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

- **Teneur de la CE dans les rizières de plateau**

L'analyse de l'évolution de la conductivité électrique montre que les sols de plateau sont en majorité constitués de légèrement salés. Sur les 21 sites échantillonnés, 12 ont des sols légèrement salés avec des valeurs de conductivité électrique comprises entre 500 et 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 4 se retrouve avec des sols de plateau non salés, 2 sites ont des sols de plateau salés et 3 sites ont des sols de plateau extrêmement salés.

### 3.3. Impacts biophysiques et socio-économiques de la dégradation physico-chimique des sols

#### 3.3.1. Impacts biophysiques de la dégradation physico-chimique des sols

La fertilité biologique des formations pédologiques est de plus en plus fragile à cause de la dynamique croissante des éléments pédosphériques. Les sols ont, en outre, une fertilité dégradée par les changements physiques et chimiques de ces constituants et matériaux. Sur les sols de plateau, la dégradation biologique des sols se manifeste par le lessivage et le transport des éléments chimiques engendrant un stress des sols en matières fertilisatrices, mais aussi à une baisse drastique de la capacité d'échange cationique. Alors qu'au niveau des sols de bas-fonds et de versants, la dégradation biologique des sols se manifeste par une surabondance des constituants chimiques du sol, c'est à dire par la salinisation, l'acidification et eutrophisation ou la présence de substances toxiques.

Le pH est extrêmement acide sur la quasi-totalité des sols avec une valeur de 4,5. Ce phénomène d'acidité des sols du Département d'Oussouye influe sur l'assimilabilité des constituants nutritifs des sols, augmente leur carence, provoque l'apparition d'éléments toxiques sur les plantes et modifie les activités et la nature des micro-organismes du sol. L'acidité des sols provoque deux effets sur le développement des cultures. Il s'agit de la solubilisation de l'aluminium naturel du sol qui est le principal facteur limitant de la croissance des plantes et de la perte de nutriments cationiques dans le sol qui provoque la carence de certains micronutriments. Outre que ce phénomène d'acidité des sols, une fulgurante salinisation y est notée également. Elle se manifeste par l'extension des unités de tanne et de l'absence de la végétation. Les sols sont en grande partie blanchâtres et couverts de cristaux de sel. C'est un phénomène qui est perceptible sur le long des rizières de bas-fond de Siganar, Elinkine, Boudjiédjié, Carabane, Eloubaline, Nikine, Kabrousse, etc. Ainsi, les phénomènes de salinisation et de sodification que connaissent les sols de bas fond sont étroitement liés au processus d'écoulement des eaux de surface. Au-delà d'un seuil donné de salinisation des sols, la croissance des plantes, la

production végétale, l'eau et la qualité des sols, sont gravement affectées, elles conduisent à la dégradation des terres.

### **3.3.2. Impacts socio-économiques de la dégradation physico-chimique des sols**

Depuis quelques décennies, les exploitants agricoles du Département d'Oussouye constatent qu'une diminution de la fertilité de leurs espaces agraires. Leurs sols sont exposés à la dégradation (salinisation, érosion, etc.), causant la baisse des rendements. La dégradation de sols liée à la salinité, a un impact négatif sur la production agricole. En effet, un excès de sels solubles dans l'eau augmente sa pression osmotique, ce qui rend difficile l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par les plants cultivés.

Les impacts se traduisent également par une baisse des superficies agricoles, des rendements et / ou de la productivité des terres liées à la perte de la fertilité et un abandon des parcelles. La population enquêtée reconnaît à 94,7% que la dégradation des terres et la baisse de surfaces agricoles liées en grande partie à la salinisation, ont impacté fortement la production agricole.

Les impacts se font sentir par l'élevage via une baisse du couvert végétal et/ou de la biomasse par suite de l'extension de salinisation et la baisse de la biodiversité, ce qui engendre l'augmentation des terres de tanne au détriment de l'espace pastoral et agricole. Le cheptel est confronté à l'absence de fourrages suite à la baisse de la biomasse et fait de plus en plus recours aux parcours naturels et aux débris agricoles laissés sur place après la récolte pour s'approvisionner.

Dans le secteur de la pêche, les impacts se manifestent par une raréfaction de la ressource halieutique. Ce phénomène s'explique par la modification de l'écosystème de mangrove avec une forte régression de leurs superficies. Les habitats des espèces sont menacés par la forte salinité des eaux, les coupes abusives de la mangrove. Ces effets biophysiques ont contribué à modifier les conditions environnementales, permettant ainsi de moins en moins à ces habitats côtiers d'assurer la fonction écologique de nurserie et de zone de frayère.

## **Discussion**

L'étude analytique de la dynamique physico-chimique des unités morphologiques et leurs impacts dans le département d'Oussouye a montré la dynamique de l'acidification, de la salinisation et des modifications granulométriques des formations morpho-pédologiques.

Le pH moyen des sols, mesuré au niveau des différentes unités morphologiques, varie de 2,5 à 6 montre que des sols sont fortement acides. Les variations spatiales sont faibles, de l'ordre de 0,1 unité pH entre les sols de Bolongs et les sols des bas-fonds et 3,8 unités pH entre les sols de bas-fonds et ceux de plateau. Les résultats obtenus sur les phénomènes d'acidification et salinisation confortent ceux issus des travaux de M. GAYE et al. (2024, p.55). Ces chercheurs ont mesuré à la latitude de la moyenne Casamance plus précisément à Sédhiou un pH variant entre 4,5 et 7,5 traduisant des sols très acide et une CE comprise entre 2000 et 3999  $\mu\text{S}/\text{cm}$  montrant le caractère salé des sols. Les phénomènes d'acidification et de salinisation restent ainsi très poussés dans l'hinterland de l'estuaire Casamance. La même remarque a été observée dans les travaux de C.A.T. FAYE et al. (2024, p.207) effectués sur le bassin versant du Soungouroungou affluent du fleuve Casamance. Les auteurs ont confirmé la nature acide des formations morpho-pédologiques avec un pH variant entre 3,4 et 6,8 des berges du Soungouroungou vers les plateaux. Mais, par rapport à la salinité, les teneurs ont tendance à diminuer de l'amont vers l'aval avec une CE variant 27,3 à 36600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sur l'horizon de surface du bassin versant du Soungouroungou. Cette situation confirme que les phénomènes de salinisation des unités morphologiques longeant le fleuve Casamance sont engendrés par la pénétration des ondes de marées. Les fortes valeurs d'acidité et de salinité des sols réconfortent l'assertion de T. SANE, (2023, p. 4) qui soutient que la fertilité est affectée par salinisation et une acidification des sols des bas-fonds

aptes aux cultures de riz, d'arachide et de mil entre Kafountine, Baïla, Thionck-Essyl, Coubanao en Moyenne Casamance.

Les sols du milieu d'étude deviennent de plus en plus acides puisque leur pH est globalement en dessous de 4,5. Par conséquent il est de plus en plus difficile de produire des cultures vivrières dans ce milieu car l'approvisionnement de la plupart des nutriments des végétaux diminue alors que l'aluminium et quelques micronutriments deviennent solubles et toxiques pour les cultures et/ou les plantes.

### Conclusion

Dans un contexte global de changement climatique marqué par des séries de sécheresses et de baisse de la pluviométrie prolongées, l'estuaire sud de la Casamance est un témoin visible des impacts engendrés par cette variabilité climatique. A travers une démarche méthodologique qui repose sur une étude de la granulométrie, du pH et de la CE des unités morpho-pédologique échantillonnées et une enquête socio-économique, nous avons fait une analyse biophysiques des unités morphologiques et leurs conséquences physico-chimiques des sols du département d'Oussouye.

L'analyse des faciès des échantillons prélevés illustre la prédominance de la fraction fine de la population granulométrique de l'estuaire de Casamance. Cette dernière est majoritairement constituée de limons mis en plus dans des conditions hydrodynamiques calmes. Les sédiments sont en moyenne mobilisés à 5% par roulage et reptation, à 92% par suspension et 2% par saltation. La faible présence de la texture grossière s'explique par le caractère spécifique du domaine éco géographique sillonné par des Bolongs ceinturés de mangroves. Ainsi, les faciès sont globalement d'origine fluvio-estuarienne et éolienne avec la dominance des sols à tendances hydromorphes acides et halomorphes. Le pH estimé entre 2,3 et 6,2 justifie le niveau d'acidité élevé des sols de l'estuaire du fleuve Casamance.

Ainsi, le pH a un impact sur l'élément nutritif dans le sol et des effets directs sur l'activité des organismes terricoles à qui l'on doit la structure du sol, le cycle de la matière organique ou la fixation de l'hydrogène dans la nodosité des racines des plantes. Il a aussi des effets sur le rendement et la dégradation des certains pesticides. La conductivité électrique des différentes unités morphologiques étudiées montre que les sols du département d'Oussouye sont aussi affectés par une forte salinité. Le processus de salinisation des sols de notre milieu d'étude constitue une réalité et reste un problème environnemental même si d'une localité à une autre cette dernière se fait ressentir différemment. A l'exception de Diakène Diola, Siganar où elle est spectaculaire, l'acidité et la salinité sont perçues de façon très dispersée dans les autres sites.

### Références bibliographiques

- BODIAN A., DACOSTA Honoré. et DEZETTER Alain. 2011 Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, vol. V, pp. 116-133.
- CASENAVE, A., Valentin, C., 1995. Etats de surface et transposition des données hydrologiques. In *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement* (Ed. Par P. Chevallir & B. Pouyau d) (Actes de la conférence de Paris, mai 1995). IAHS Publ. no. 238,1996. Pp 225 – 23.
- CORMIER-Salem, M.C., 1994. Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du sud. Edition de l'ORSTOM, Paris, 351 p.
- CORMIER-Salem, M.C., 1999. The mangrove: an area to be cleared for social scientists. *Hydrobiologia*, 413, 135–142.
- CSE ,2010, rapport sur l'Etat de l'Environnement au Sénégal. La presse de l'imprimerie Tandian, Dakar, 265 p. 54

- DIARA M, 1999. Formation et évolution Fini-Holocène et dynamique actuelle du Delta Saloum-Gambie (Sénégal-Afrique de l'Ouest) : géomorphologie, stratigraphie, sédimentologie et dynamique sédimentaire. Thèse de Doctorat de 3<sup>em</sup> cycle d'Océanologie, Géologie Université de Perpignan, 199p
- FAYE Binta 2018 – *Variabilité climatique et dynamique des terres salées de 1971 à 2010 dans le nord de l'estuaire du Saloum (Fatick, Sénégal)*. Thèse de Doctorat Unique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 346 p.
- FAYE Binta, TOURE Mame Aïssatou., FAYE Guilgane. 2017 – « Dynamique de la dégradation des terres dans la Commune de Loul Sessène (Fatick, Sénégal) ». *Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi « DTD »*, 16, 106-125.
- FAYE Cheikh Ahmed Tidiane, GAYE Mar, FAYE Alia Diene, 2024, « Dégradation chimique des terrains agricoles du bassin versant de Soungrougrou (Moyenne Casamance, Sénégal), *LES CAHIERS DE L'ACAREF* Vol. 6 No 18/ Août 2024, pp 197-211.
- GAYE Mar, SOW Seydou Alassane, THIAM Bouba, « La Influences chimiques des eaux estuariennes du fleuve Casamance sur l'agrosystème de la commune de Karantaba (région de Sédhiou, sud du Sénégal) », Numéro varia (En ligne), (Numéro 1 | 2024), ISSN : 2957- 9279, pp. 45-62, mis en ligne, le 30 juin 2024.
- IDEE Casamance, 2002- *Exploitations communautaire et responsable des ressources halieutiques des zones humides en Casamance : une stratégie de conscientisation des acteurs et populations riveraines, Rapports et études IDEE Casamance, Ziguinchor, 11 p.*
- LADIBI A. (2017) – La salinisation des sols constitue une vraie menace pour la sécurité alimentaire mondiale. (<http://www.agrimaroc.ma>).
- LEGROS J.P. (2009) – La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Séance du lundi 22/06/2009, Conférence n° 4069, Bulletin n° 40, pp 257-269.
- MONTORIO Jean Piere, 2017 : « La salinisation des écosystèmes De la dégradation insidieuse à la remédiation continue par les hommes », *La revue Liaison Énergie-Francophonie numéro 105*.
- NDIAYE A, (2012) : Impacts de la salinisation des rizières dans la Communauté Rurale de Diembéring (Basse Casamance). Mémoire de Master II, UCAD.
- NDOUR T. (2001), la dégradation des sols au Sénégal : exemple de deux communautés rurales (Kaymor et Mont Rolland) », UCAD, 311pages.
- NIABALY B., DIATTA A., 2010 : *Diagnostic des ressources naturelles, des modes de gestions traditionnels et des savoirs locaux à Tabor, Baghagha et Djagoubel, Mémoire de Master, Université de Ziguinchor, 39 p*
- NIANG A. J. (2008) - *Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le Sud-Ouest de la Mauritanie. Approche par analyse multisource*. Thèse de Doctorat, Université de Liège (Belgique), 286 p.
- SADIO S. (2011) – La connaissance des sols salés sulfatés acides des mangroves : Processus et mécanismes de pédogenèse, distribution spatiale et évolution. In Récupération et valorisation des terres salées en Afrique. Rapport général, Atelier international préparatoire, Académie Nationale des sciences et Techniques du Sénégal, Dakar, Sénégal, 25-26 (non publié).
- SANE Tidiane, 2023. *Les systèmes agraires de la Basse Casamance*, la Clothèque, l'Harmattan Sénégal, DAKAR, 7 p.
- VIEILLEFON J., 1994 : Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rizières du sud (du Sénégal à la Sierra Léone), ORSTOM, édition