

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DU COUVERT VÉGÉTAL DE LA ZONE CÔTIÈRE DU SUD DU DEPARTEMENT DE MBOUR AUX ÎLES DU SALOUM

Madiop YADE¹, Mbagnick FAYE², Dieynaba SONKO³

¹Université Cheikh Anta DIOP, département de Géographie, Laboratoire de Climatologie d'Environnement (LCE), Dakar, Sénégal, BP: 5005, Email: madiop.yade@ucad.edu.sn

²Université Cheikh Anta DIOP, département de Géographie, Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Dakar, Sénégal, BP: 5005, Email: fayedoudon85@yahoo.fr;

³Université Cheikh Anta DIOP, département de Géographie, Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Dakar, Sénégal, BP: 5005, Email: dieynabas436@gmail.com

Résumé

Le littoral sénégalais, constitué d'écosystèmes divers et riches assurant de nombreux services socio-économiques, est très menacé à l'heure actuelle par les effets du changement climatique. Son climat connaît une certaine péjoration qui ne cesse de s'accroître à travers une forte variabilité des précipitations et une hausse des températures. Cette dynamique aléatoire contribue à l'extension des terres salées, favorisant le dépérissement et le rétrécissement du couvert végétal. Cette étude tente ainsi d'analyser les influences de la variabilité pluviométrique sur la dynamique du couvert végétal et les stratégies de lutte contre la dégradation environnementale dans la zone côtière allant du sud du département Mbour aux îles du Saloum. Les stations de Mbour, Joal et Fatick sont retenues pour caractériser l'irrégularité pluviométrique à travers l'Indice Standardisé des Précipitations (ISP) et le test non paramétrique de Pettitt sur la période allant de 1961 à 2024, soit 64 ans. Pour la détection des changements d'occupation du sol, la méthode de classification supervisée est appliquée sur les images Landsat de 1985, 2000 et 2020. Les résultats décèlent une importante fluctuation pluviométrique marquée par des déficits répétés et de fortes sécheresses, notamment durant la période 1970-2007. L'analyse diachronique du couvert végétal met en évidence des dynamiques contrastées en fonction de l'évolution des précipitations. Entre 1985 et 2000, période coïncidant avec la sécheresse, les vasières enregistrent une progression notable (+56,41 %), tandis que les tannes (-33,45 %) et la végétation (-40,38 %) diminuent fortement. Entre 2000 et 2020, avec le retour à la normale de la pluviométrie, les vasières poursuivent leur progression avec un rythme moins soutenu (+14,38 %), la végétation connaît une forte augmentation (+68,17 %) pendant que la mangrove rétrécit faiblement (-3,6 %).

Mots clés : *Changement climatique, dynamique, couvert végétal, littoral, télédétection.*

CLIMATE CHANGE AND CHANGES IN VEGETATION COVER IN THE SOUTHERN COASTAL ZONE OF THE DEPARTMENT OF MBOUR IN THE SALOUM ISLANDS

Abstract

Senegal's coastline, composed of diverse and rich ecosystems that provide numerous socioeconomic services, is currently under serious threat from the effects of climate change. Its climate is deteriorating at an ever-increasing rate, characterized by high variability in precipitation and rising temperatures. These unpredictable changes are contributing to the expansion of salt flats, leading to the decline and shrinkage of vegetation cover. This study thus seeks to analyze the effects of rainfall variability on vegetation cover dynamics and strategies to combat environmental degradation in the coastal zone stretching from the southern part of the Mbour department to the Saloum Islands. The stations at Mbour, Joal, and Fatick were selected to characterize rainfall irregularity using the Standardized Precipitation Index (SPI) and Pettitt's nonparametric test over the period from 1961 to 2024, spanning 64 years. To detect changes in land cover, the supervised classification method was applied to Landsat images from 1985, 2000, and 2020. The results reveal significant rainfall fluctuations characterized by recurring deficits and severe droughts, particularly

during the 1970–2007 period. A diachronic analysis of vegetation cover highlights contrasting dynamics depending on changes in precipitation. Between 1985 and 2000—a period coinciding with the drought—mudflats expanded significantly (+56.41%), while salt marshes (-33.45%) and vegetation (-40.38%) declined sharply. Between 2000 and 2020, as rainfall returned to normal levels, mudflats continued to expand at a slower rate (+14.38%), vegetation experienced a sharp increase (+68.17%), while mangroves contracted slightly (-3.6%).

Keywords: *Climate change, dynamics, vegetal cover, coastlin, teledetection.*

Introduction

Le changement climatique constitue l'un des défis environnementaux les plus préoccupants du XXI^{ème} siècle. Selon les rapports successifs du GIEC, le réchauffement de la planète entraîne des modifications profondes des systèmes naturels, notamment dans les zones côtières intertropicales particulièrement vulnérables. En Afrique de l'ouest sahélienne, ces transformations se manifestent à travers une irrégularité pluviométrique accrue, une hausse des températures, une élévation du niveau de la mer et une intensification des processus d'érosion côtière ; ce qui fait de cette partie du monde l'une des régions les plus exposées au changement climatique (GIEC, 2022, p 16).

Le Sénégal, pays soudano-sahélien dont la majorité de la population habite les 718 km de zone côtière, est particulièrement exposé à ces risques climatiques. Les zones littorales concentrent à la fois une forte densité humaine et des écosystèmes d'une grande fragilité, ce qui amplifie les enjeux liés à la dégradation du couvert végétal induite par les mutations climatiques. En effet, le littoral sénégalais est constitué d'écosystèmes divers et riches assurant de nombreux services socio-économiques. Mais depuis le début des années 1980, les incidences de cette péjoration climatique se traduisent par une détérioration du milieu physique, notamment sur les sols et la végétation avec un rétrécissement du couvert végétal résultant d'une acidification et d'une salinisation qui se sont accentuées dans le littoral sud (J. B. Ndong, 1995, p 197). Aussi, sur la Petite Côte sénégalaise, qui s'étend du sud de la presqu'île du Cap-Vert jusqu'au delta du Sine-Saloum, l'érosion côtière résulte du changement climatique combiné à la pression anthropique. Cette forte anthropisation, qui s'explique par sa position géographique et les nombreuses opportunités et services qu'elle offre, augmente sa vulnérabilité (D. Yade, 2022, p 68).

La zone côtière comprise entre le sud du département de Mbour et les îles du Saloum constitue un espace de transition écologique entre la Petite Côte sablonneuse et le delta estuarien du Saloum. Cet espace, caractérisé par une mosaïque d'écosystèmes (mangroves, savanes boisées, forêts classées, tannes, prairies marécageuses), est soumis à des pressions conjuguées : variabilité et déficit pluviométrique, hausse des températures, avancée de la mer, salinisation croissante des sols et des nappes, et exploitation intense des ressources naturelles. Des travaux antérieurs ont documenté que la réduction du volume et de la fréquence des pluies, combinée à la faiblesse de la pente de l'estuaire du Saloum et à une forte évaporation, a profondément changé le mécanisme de cet estuaire qui fonctionne aujourd'hui de manière inverse avec une augmentation de la salinité vers l'amont (S. Weissenberger et al, 2016, p 13). Ces changements se lisent sur le couvert végétal à travers une importante dégradation des forêts de mangrove, alors que l'évolution actuelle des sols du Sine-Saloum est perçue comme la conséquence de la dernière sécheresse qui a régné sur l'ensemble du Sénégal surtout dans les domaines fluviomarins (S. Sadio, 1991, p 95). Ces constats appellent à des investigations plus fines, intégrant une dimension diachronique et spatiale, d'où tout l'intérêt de cette étude dont la question centrale qui la sous-tend est la suivante : Dans quelle mesure les changements climatiques observés depuis les années 1970 ont-ils induit une reconfiguration spatiale et temporelle du couvert végétal dans la zone côtière allant du sud du département de Mbour aux îles du Saloum ?

Si plusieurs études ont été menées sur le delta du Saloum dans sa globalité, la portion allant du sud du département de Mbour aux îles du Saloum reste insuffisamment documentée dans une approche intégrant simultanément la variabilité climatique et la dynamique du couvert végétal par télédétection sur le long terme. La pertinence scientifique et opérationnelle de cette recherche réside aussi dans le fait que cette partie du littoral sénégalais abrite la Réserve de Biosphère du Delta du

Saloum (RBDS) qui s'étend sur 334 000 ha dont 60 000 ha de mangroves. Cette réserve, classée depuis 1980, constitue ainsi un espace de biodiversité exceptionnel d'autant plus qu'elle est inscrite au patrimoine mondial culturel de l'UNESCO depuis 2011. Ainsi, les populations riveraines dépendent directement de ces ressources naturelles, surtout de la mangrove pour la pêche, l'ostréiculture, l'apiculture et la collecte de bois de chauffe. Partant de ces considérations, cette étude s'efforce d'analyser la dynamique du couvert végétal en corrélation avec la variabilité climatique sur le littoral allant du sud du département de Mbour aux îles du Saloum.

1. Présentation du milieu

La zone d'étude s'étend sur la portion littorale allant du sud du département de Mbour jusqu'aux îles du Saloum, dans les régions de Thiès et Fatick au Sénégal (figure 1). Elle constitue ainsi une interface entre la Petite Côte sénégalaise au nord, caractérisée par un linéaire côtier sableux adossé à un plateau marno-calcaire et des dunes quaternaires, et le complexe deltaïque du Sine-Saloum au sud (G. Ackermann et *al*, 2006, p 3). Plus précisément, la commune côtière de Joal-Fadiouth, située dans le département de Mbour, marque la jonction entre la Petite Côte sableuse et la lagune estuarienne bordée par la flèche de Sangomar. Au sud s'ouvre le delta du Saloum, composé de trois principaux bras : le Saloum au nord (110 km), le Diomboss au centre (30 km) et le Bandiala au sud (18 km), qui délimitent un labyrinthe de plus de 200 îlots et îles.

Sur le plan climatique, le milieu d'étude s'insère dans la zone climatique soudano-sahélienne, caractérisée par une alternance entre une saison sèche longue (novembre à juin) et une saison des pluies, appelée hivernage, de juillet à octobre. Les précipitations s'échelonnent de 548 mm à la station de Thiadiaye au nord de l'estuaire à 675 mm à la station de Foundiougne au sud (B. Faye et *al*, 2019, p 82), ce qui témoigne d'un gradient pluviométrique nord-sud caractéristique de la région. La variabilité interannuelle des précipitations est une constante structurelle de ce climat caractérisé par des saisons des pluies irrégulières, oscillant entre déficits et excédents. Une rupture majeure a été enregistrée à partir de 1968, marquant le début d'une longue période de sécheresse qui s'est poursuivie jusqu'au début des années 2000 où on observe une amélioration partielle de la pluviométrie, se traduisant par l'apparition d'années excédentaires. Pour autant, cette reprise ne signifie pas retour à la normale car la variabilité reste toujours forte (P. Sagna et *al*, 2017, p 12). En matière de températures, la zone bénéficie de l'effet modérateur de l'Atlantique avec le souffle de l'alizé maritime, mais les projections climatiques indiquent une tendance au réchauffement.

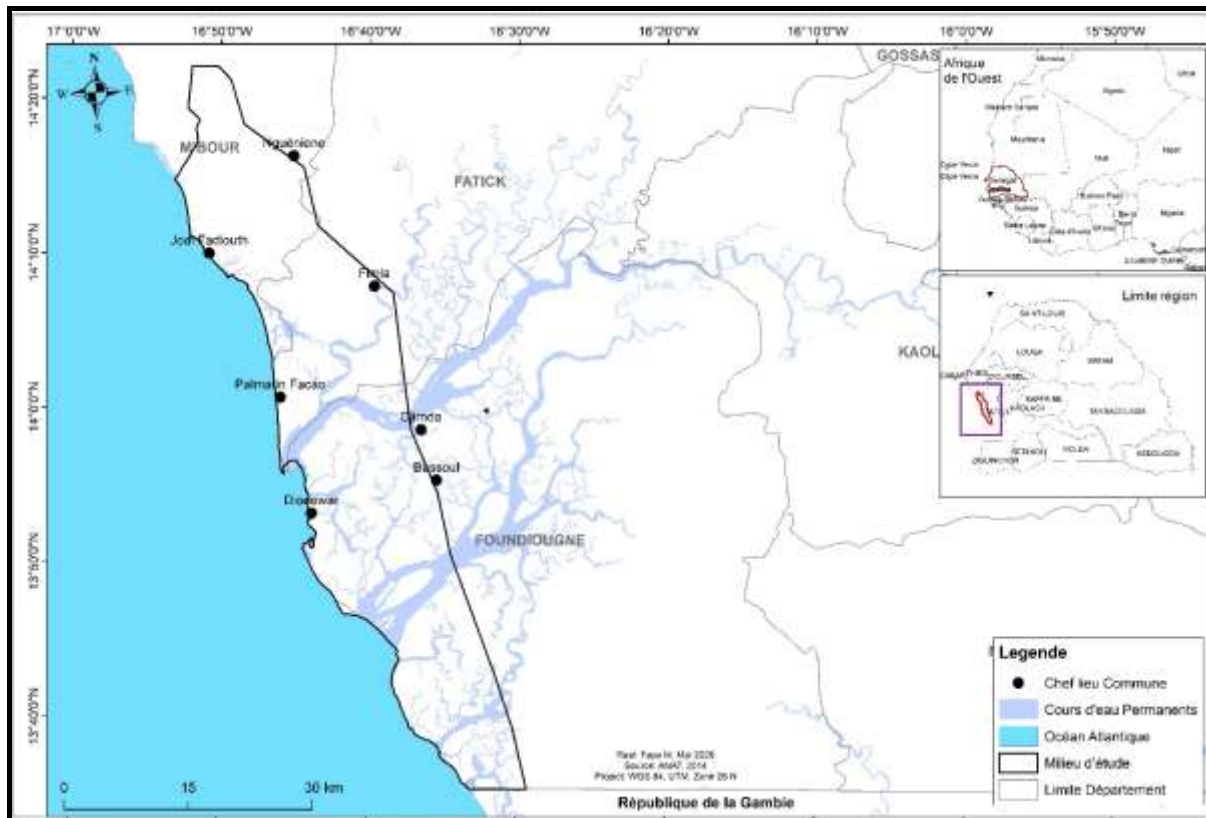


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Cette frange côtière étudiée présente une morphologie contrastée. Le nord, dominé par les plages sableuses et les dunes quaternaires de la Petite Côte, s'oppose au sud au complexe estuarien du delta du Saloum, une ria fonctionnant comme un estuaire inverse. Ce fonctionnement atypique résulte de la faiblesse des apports d'eau douce et d'une forte évaporation, conduisant à une augmentation de la salinité vers l'amont contrairement au processus habituel des estuaires. Ainsi, la dynamique hydro-sédimentaire de cet espace est marquée par une forte salinisation progressive des terres, exacerbée par la variabilité climatique contemporaine (B. Faye et *al*, 2019, p 87). Sur le plan pédologique, la zone présente une diversité caractéristique des milieux tropicaux humides : sols ferrugineux tropicaux, sols hydromorphes, sols calcimorphes, sols minéraux bruts et sols halomorphes. Cette diversité biologique conditionne directement la répartition des formations végétales, répondant aux gradients écologiques : mangrove dans les zones intertidales, prairie marécageuse en arrière-mangrove, savane arborée et boisée sur les parties exondées, et forêts classées. La mangrove est dominée par les palétuviers (*Rhizophora*, *Avicennia germinans*) et représente 60 % de la couverture végétale de la RBDS. Au-delà des mangroves, la diversité faunique et floristique de la zone est remarquable, ce qui lui confère une importance stratégique pour la conservation de la biodiversité régionale et mondiale. Cependant, elle est soumise aujourd'hui à de nombreuses pressions anthropiques directes : feux de brousse, exploitation anarchique du bois, mauvaises pratiques d'utilisation des ressources biologiques, surpâturage ; facteurs exacerbés par la variabilité climatique et ses corollaires que sont la salinisation et l'érosion côtière. En effet, entre 2002 et 2013, la population des communes du nord de l'estuaire du Saloum a affiché une très forte augmentation, comprise entre 17 et 60 %, avec des densités ayant crû de 17 à 40 % (B. Faye, 2019, p 82). Cette dynamique démographique se traduit ainsi par une intensification de l'exploitation des ressources naturelles, notamment le bois de chauffe, la pêche et les pratiques agricoles extensives.

2. Données et méthodes

Cette étude est basée sur les données de la station agro-climatologique de Fatick, la station climatologique de Mbour et le poste pluviométrique de Joal. Ces données climatiques proviennent de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) du Sénégal. Les images Landsat sont retenues pour cette étude. Ce choix est basé sur la disponibilité et la gratuité des données. Les dates retenues sont 1985, 2000 et de 2020. Les images sont acquises en saison sèche notamment entre Février et Mars (tableau I).

Le choix des images de la saison sèche permet d'éviter toute confusion entre le couvert végétal et le couvert herbacé. Une série de correction est appliquée sur ces images dans l'optique d'augmenter la qualité de l'information et minimiser l'incertitude sur les données qui est due, aux perturbations atmosphériques, aux mouvements du satellite sur son orbite et parfois des problèmes liés au capteur.

Tableau I : Caractéristiques des images Landsat utilisées.

Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'ondes	Résolution
TM	1985	1-Bleu	0,45 - 0,52 μm	30 m
		2-Vert	0,52 - 0,6 μm	
		3-Rouge	0,63 - 0,69 μm	
		4-PIR	0,76 - 0,9 μm	
		5-SWIR 1	1,55 - 1,75 μm	
		7- SWIR 2	2,08 - 2,35 μm	
Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'ondes	Résolution
ETM+	2000	1-Bleu	0,45 - 0,52 μm	30 m
		2-Vert	0,53 - 0,61 μm	
		3-Rouge	0,63 - 0,69 μm	
		4-PIR	0,78 - 0,9 μm	
		5-SWIR 1	1,55 - 1,75 μm	
		7- SWIR 2	2,09 - 2,35 μm	
Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'ondes	Résolution
OLI	2020	2-Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
		3-Vert	0,525 - 0,600 μm	
		4-Rouge	0,630 - 0,680 μm	
		5-PIR	0,845 - 0,885 μm	
		6-SWIR 1	1,560 - 1,660 μm	
		7-SWIR 2	2,100 - 2,300 μm	

2.1 Méthodes

L'Indice Standardisé des Précipitations (ISP)

L'indice standardisé des précipitations SPI (Standardized Precipitation Index en anglais) est utilisé pour caractériser la variabilité pluviométrique.

L'indice se calcule selon la formule : $AS = \frac{(Xi - Xm)}{Si}$ où

Xi = cumul de la pluie pour une année i ; Xm = moyenne annuelle des pluies selon la période donnée ; Si = écart-type des cumuls annuels sur la même période. Il permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité (OMM, 2012, p. 5) à travers différentes classes qui déterminent des critères d'appréciation (tableau II).

Tableau II : 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

Source : OMM, (2012)

Test non paramétrique de Pettitt

Le test de Pettitt est utilisé pour mettre en évidence le caractère stationnaire ou non des séries chronologiques de températures et de précipitations. Le test examine l'existence d'une rupture à un instant (t) inconnu de la série à partir d'une formule dérivée de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Le test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne (P. Hubert et *al.* 1998, p. 268; H. Lubès-Niel et *al.* 1998, p. 387).

Pettitt définit la variable $U_{t,N}$:

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$ avec $\text{sgn}(Z) = 1$ si $Z > 0$, 0 si $Z = 0$ et -1 si $Z < 0$.

Il propose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique K_N définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour (t) variant de 1 à N -1. Si l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série est rejetée, le test propose une estimation de la date de rupture.

Le test de segmentation de Hubert est aussi appliqué pour déterminer les différentes périodes d'évolution de la pluviométrie. Contrairement au test de Pettitt qui ne cherche qu'une seule rupture, Hubert est capable de découper la série chronologique en plusieurs segments si le climat a changé plusieurs fois. Cette procédure de segmentation de séries chronologiques a été présentée par Hubert et Carbonnel (1987, p. 169) et ensuite complétée par Hubert et *al.* (1998, p. 269)) Le principe de cette procédure est de « découper » la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne dans une série chronologique (Fossou R. M. N. et *al.*, 2015, p. 92).

Traitement des images satellitaires

La méthode de classification supervisée est utilisée pour ce travail. Cette technique est utilisée pour identifier les zones similaires sur une image à travers la signature spectrale. Il s'agit d'identifier d'abord les sites d'entraînement c'est-à-dire les échantillons assez homogènes sur l'image et représentatifs de différents types de surfaces. Ces échantillons sont, ensuite, utilisés pour définir les classes spectrales qu'ils représentent (J. Andrieu et C. Mering, 2008, p. 98). Il existe au sein de la classification supervisée plusieurs algorithmes de classification. Cependant, nous avons choisi, dans le cadre de cette étude, la classification par « maximum de vraisemblance ». Ce dernier est très utilisé dans les classifications supervisées et est considéré comme le plus performant dans la production des cartes thématiques dans le domaine de l'occupation du sol (E. H. B. Dieye et *al.*, 2013, p.6). La classification par maximum de vraisemblance est basée sur la règle de Bayes :

$$Pr\{A_i|B\} = \frac{Pr\{A_i\} \cdot Pr\{B|A_i\}}{\sum Pr\{A_i\} \cdot Pr\{B|A_i\}}$$

(Source : <http://www.seos-project.eu>)

Où A_i représente la classe i, B représente les valeurs de réponse du pixel.

$\Pr \{A|B\}$ est la probabilité conditionnelle que la classe A_i soit la classe où placer le pixel B .

Dynamique de l'occupation du sol

Pour la détection des changements d'occupation du sol, des corrections radiométriques et atmosphériques ont été apportées sur les images. En plus de ces corrections, d'autres techniques d'amélioration comme la normalisation sont appliquées sur les images. Cette dernière consiste à utiliser une image comme référence sur laquelle on ajuste les propriétés radiométriques de l'image à corriger pour que les effets indésirables puissent être minimisés ou éliminés (J. Andrieu et C. Mering, 2008, p. 100). Cette technique permet de comparer, en termes de caractéristiques radiométriques, les images obtenues par différents capteurs et en différentes dates. Le logiciel ENVI 5.3 nous a permis de normaliser les images avec l'image Landsat ETM+ de 2000 comme référence.

La comparaison post-classification est utilisée pour la détection des changements. C'est la méthode la plus évidente qui nécessite la comparaison d'images classifiées produites indépendamment (E. H. B. Dieye et *al.*, 2013, p.5). Elle nous a permis d'appréhender les modifications survenues au cours de l'intervalle de temps considéré et de cartographier les changements observés au sein du couvert végétal dans la zone d'étude.

3. Résultats

3.1 Variabilité pluviométrique

L'examen de la série chronologique à travers l'évolution des ISP met en exergue une forte variabilité pluviométrique au niveau de la zone d'étude. En début de série (1961-1969), toutes les trois stations présentent globalement des conditions humides, sauf en 1968 qui est une année déficitaire. Les deux années les plus excédentaires de la série (1967 et 1969) se signalent durant cette période avec des indices allant de 2 à 2,4, correspondant à une extrême humidité (figure 2).

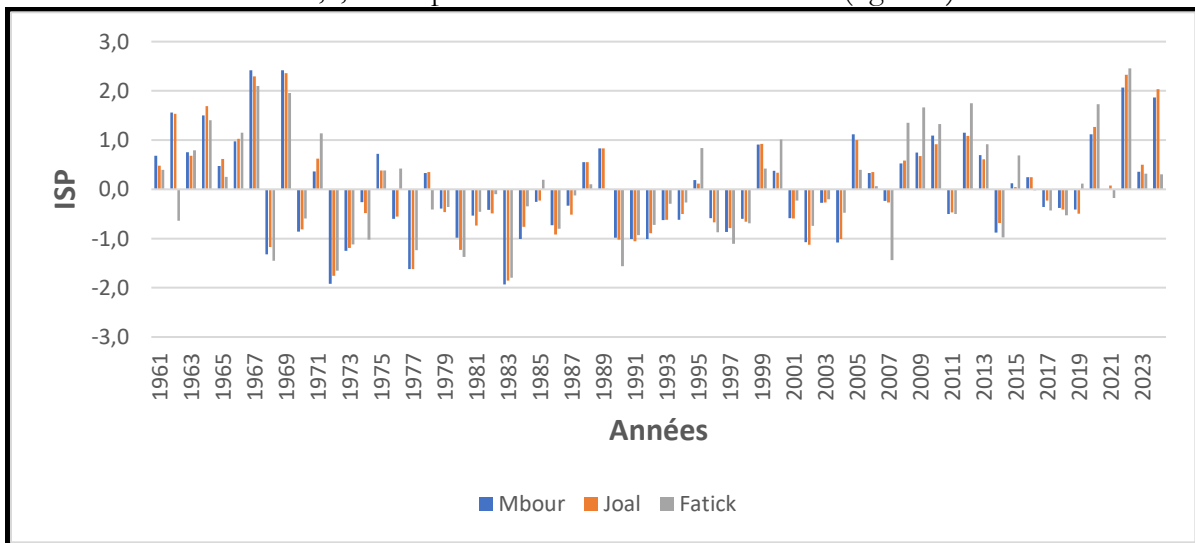


Figure 2 : Evolution pluviométrique aux stations de Mbour, Joal et Fatick de 1961 à 2024

En revanche, la période 1970-2007 se caractérise par une importante fluctuation, marquée par des déficits répétés et de fortes sécheresses, notamment en 1972, 1977 et 1983. Durant les décennies 1970-1980, ces sécheresses ont été plus accentuées au niveau des stations de Mbour et Joal, mais un renversement de tendance s'est opéré pendant la décennie 1990 avec un déficit plus intense à Fatick. La récente période (2008-2024) traduit un redressement progressif de la pluviométrie, alternant des sécheresses modérées à normales et des excédents forts à extrêmes. Toutefois ce retour positif, bien que contrasté, est plus perceptible à Fatick qui se retrouve avec les excédents les plus nets.

Ces résultats sont assez conformes avec ceux du test de Pettitt qui détecte des points de ruptures en 1967, 1969 et 1970 respectivement à Mbour, Joal et Fatick. La segmentation de Hubert confirme

globalement ces conclusions avec des décalages d'une à quatre années selon les périodes. Ainsi, aux stations de Mbour et Joal, Hubert révèle une première période allant de 1961 à 1968 avec des moyennes respectives de 745,8 et 892,6 mm. Durant la deuxième période (1969 à 2003), ces stations affichent des moyennes de 495,2 et 573 mm, alors que la dernière phase (2004-2024) se distingue avec des moyennes de 642,8 et 769,4 mm (tableau III).

Tableau III : Résultats de la segmentation de Hubert appliquée aux stations de Mbour, Joal et Fatick

Station	Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
Mbour	1961	1968	745,8	187,946
	1969	2003	495,2	111,035
	2004	2024	642,8	124,05
Joal	1961	1968	892,6	209,682
	1969	2003	573	154,616
	2004	2024	769,4	150,843
Fatick	1961	1970	707,6	214,161
	1971	2006	514,2	126,826
	2007	2024	703,1	179,705

A Fatick aussi, Hubert décèle trois phases successives dans l'évolution pluviométrique : 1961-1970 avec une moyenne de 707,6 mm, suivie de 1971-2006 pour une moyenne de 514,2 mm et enfin 2007-2024 avec 703,1 mm. Entre la première période humide et la deuxième caractérisée de sèche, une baisse pluviométrique de 34 % est constatée à Mbour, 36 % à Joal et 27 % à Fatick. Par contre, la rémission pluviométrique de la dernière phase s'affiche, par rapport à la deuxième période, avec un regain de 30 % à Mbour, 34 % à Joal et 37 % à Fatick. La station de Fatick se particularise ainsi avec la baisse la moins importante et la reprise la plus marquante.

3.2 Dynamique de l'occupation du sol

L'analyse de la dynamique d'occupation du sol offre une compréhension claire et structurée des transformations spatio-temporelles du couvert végétal entre 1985 et 2020. Ces changements observés se traduisent par des variations des différentes unités paysagères entre progression et régression des superficies occupées par chaque classe (figure 3).

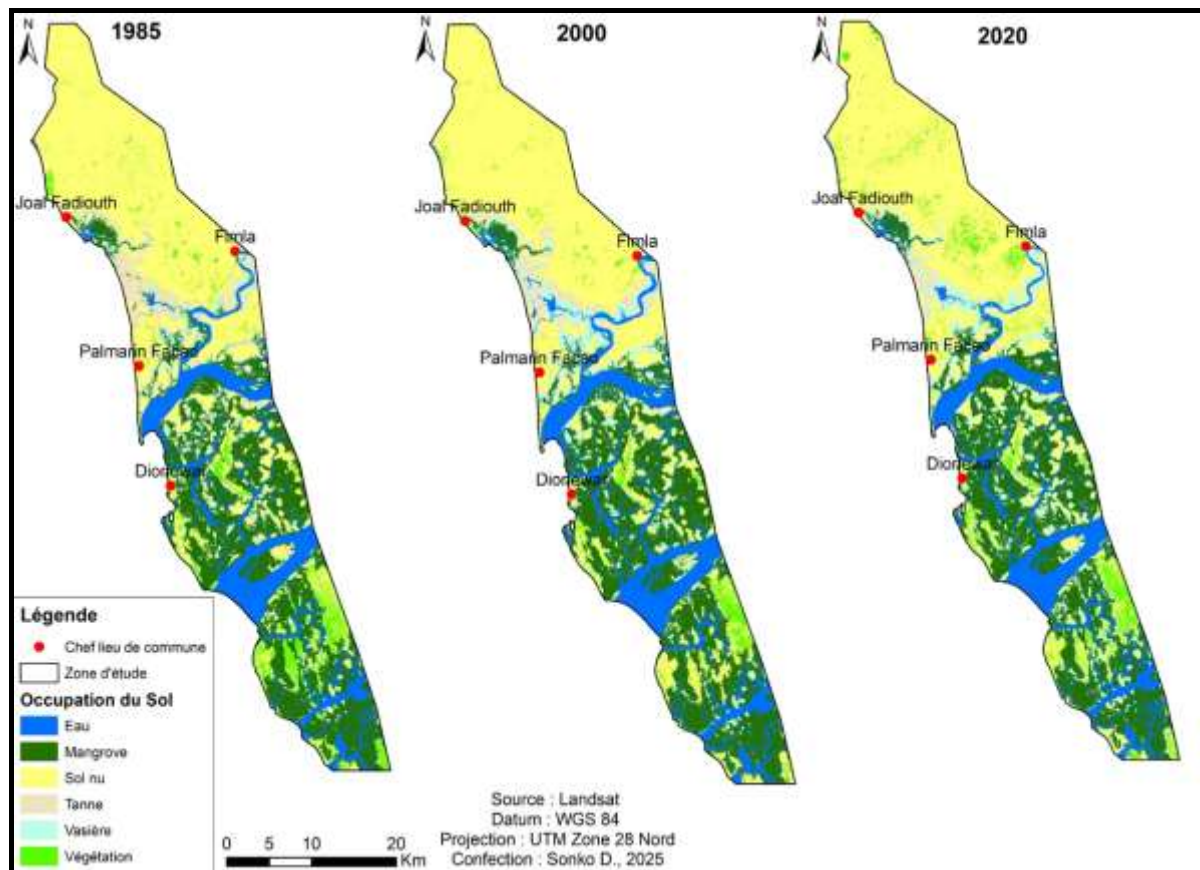


Figure 3: Occupation du sol dans la zone d'étude en 1985, 2000 et 2020.

Le paysage de la zone d'étude est ainsi fortement dominé par les sols nus et la mangrove sur l'ensemble de la période étudiée. En 1985, les sols nus occupent la plus grande superficie (47 333,7 ha), suivis par la mangrove (31 491,3 ha). Les surfaces en eau sont également assez importantes, tandis que les autres unités restent plus limitées, surtout la végétation qui occupe la plus petite surface avec 5930,46 ha. En 2000, la structure du paysage reste globalement similaire à celle de 1985. Toutefois, les étendues hydrique et vaseuse augmentent, alors que les tannes et la végétation diminuent. En 2020, les sols nus demeurent toujours dominants (47 122 ha). La mangrove reste une composante importante malgré une légère baisse. Les vasières continuent de progresser, tandis que les tannes régressent fortement. La végétation montre une légère reprise.

3.3 Détection des changements d'occupation du sol

Les figures 4 et 5 mettent en évidence des dynamiques contrastées de l'occupation du sol sur la zone d'étude. Entre 1985 et 2000, période coïncidant avec la phase sèche, les vasières enregistrent la progression la plus marquante (+56,41 %), tandis que les tannes (−33,45 %) et la végétation (−40,38 %) diminuent fortement. Les sols nus (−0,56 %) et la mangrove (+0,58 %) restent globalement invariables, traduisant une relative stabilité de ces unités.

Entre 2000 et 2020, avec le retour à la normale de la pluviométrie, les vasières poursuivent leur progression (+14,38 %) et la végétation connaît une forte augmentation (+68,17 %). À l'inverse, les tannes continuent de régresser (−34,28 %) pendant que les autres classes évoluent faiblement.

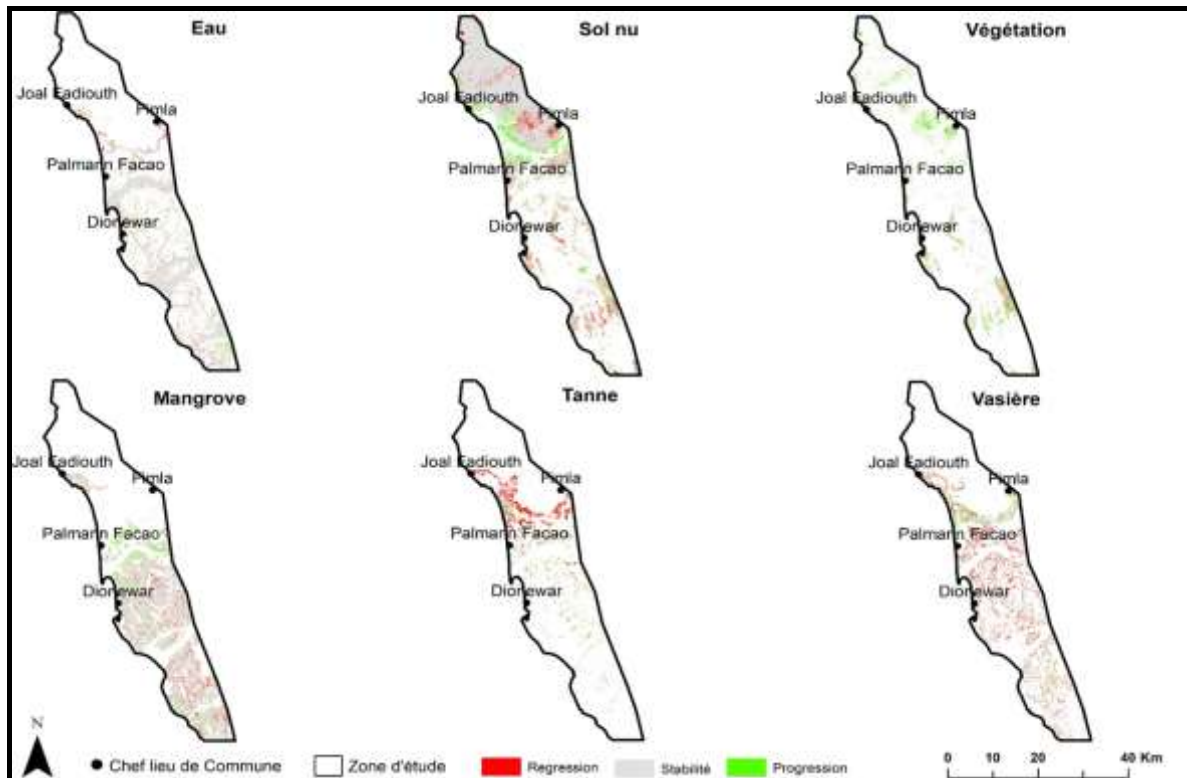


Figure 4: Changements des unités d'occupation du sol entre 1985 et 2000.

Sur l'ensemble de la période 1985–2020, les vasières présentent la plus forte progression (+78,89 %), alors que les tannes enregistrent la plus forte régression (−56,26 %). Les sols nus (−0,45 %) et la mangrove (−3,04 %) restent généralement constants, tandis que la végétation montre une relative stabilité (+0,27 %) malgré les fluctuations notées entre les phases sèche et humide.

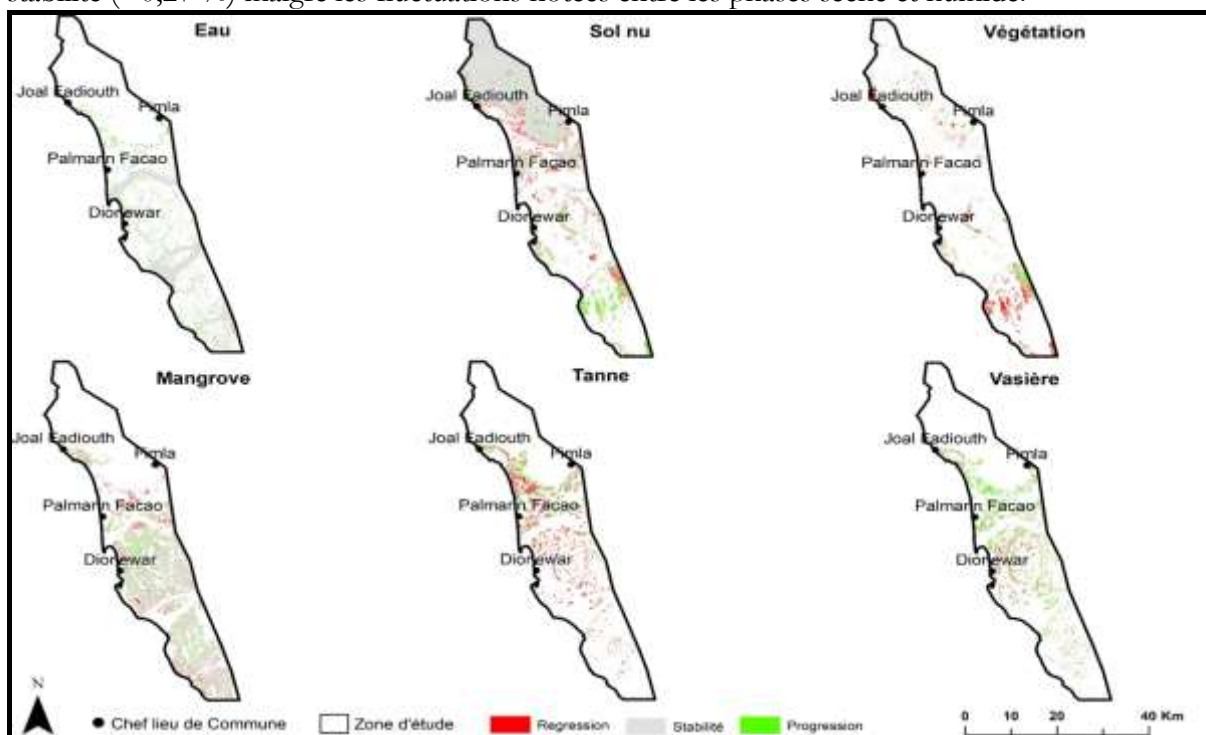


Figure 5: Changements des unités d'occupation du sol entre 2000 et 2020

3.4 Les stratégies de lutte contre la dégradation de l'environnement.

L'évolutions diachronique du couvert végétal met en évidence une forte sensibilité de ce dernier aux variations climatiques. En effet, les fluctuations pluviométriques interannuelles, combinées à la hausse des températures, accentuent le stress hydrique sur la végétation, en particulier sur les formations herbacées et arbustives. Cependant, au-delà des facteurs climatiques, la dynamique récente du couvert végétal de la zone d'étude est également influencée par les activités humaines (urbanisation, infrastructures touristiques, pêche, exploitation du bois...) qui contribuent en grande partie à la modification des unités d'occupation du sol. Face à ces multiples pressions (naturelles et anthropiques) exercées sur les écosystèmes, la gestion et la conservation des ressources naturelles constituent aujourd'hui des enjeux majeurs.

Ainsi, la surveillance et la protection du couvert végétal sur l'ensemble de la zone reposent sur une action conjointe de la Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols (DEFCCS) et des Aires Marines Protégées (AMP) qui interviennent de manière complémentaire. Les brigades forestières opèrent dans les forêts communales, tandis que les Aires Marines Protégées (AMP) assurent la surveillance des zones humides et des forêts de mangroves. Cette complémentarité a permis de mieux encadrer les activités de pêche, de tourisme et d'exploitation du bois, qui affectent directement le couvert végétal côtier, notamment autour de Mbour, Joal et des îles voisines (planche 1).



Source : D. Sonko, 2025.

Planche 1 : Coupe de filaos par des exploitants dans la forêt communale de Joal (Image A) et matériel récupéré par le chef de brigade lors des interventions de contrôle (Image B).

Ces actions de protection sont aussi complétées par des programmes actifs de reboisement et de restauration écologique, destinés à renforcer la résilience du couvert végétal face aux contraintes climatiques et anthropiques. Les campagnes de reboisement concernent principalement des espèces adaptées aux conditions locales et aux contraintes environnementales comme le filao (*Casuarina equisetifolia*), l'*eucalyptus*, mais aussi le *prosopis juliflora*, introduit pour sa capacité à lutter contre la salinisation des sols.

Parallèlement, l'Aire Marine Protégée (AMP) de Joal joue un rôle central dans la restauration et la protection de la mangrove (planche 2). À travers des campagnes de reboisement, de surveillance et de suivi écologique, l'AMP contribue à renforcer la résilience de ces formations végétales face aux contraintes climatiques et aux usages humains, notamment la pêche et la collecte des ressources halieutiques.



Source : D. Sonko, 2025

Planche 2 : Campagnes de reboisement des mangroves à Joal

4. Discussion

En s'appuyant sur une approche méthodologique par télédétection multi-temporelle (images Landsat), la caractérisation de l'évolution spatio-temporelle du couvert végétal de la zone d'étude entre 1985, 2000 et 2020 a mis en exergue des changements significatifs dans la répartition et la densité des différentes unités du paysage, en particulier la végétation. Des études similaires menées dans l'estuaire du Saloum (E. H. Sow et T. Bâ, 2019, p. 471 ; J. Andrieu et C. Mering, 2008, p. 96 ; B. Faye et al., 2019, p. 83) ont usé de la même méthodologie pour obtenir des estimations quantitatives et cartographiques fiables des changements d'occupation du sol. L'irrégularité pluviométrique décelée dans cette étude est attestée dans beaucoup de travaux (A. Bodian, 2014, p. 303 ; L. Descroix *et al.*, 2015, p. 30 ; A. Ali et T. Lebel, 2008, p. 4) menés au Sénégal et dans le Sahel en général alors que les dates de rupture (1967, 1969 et 1970) viennent confirmer celles trouvées par P. Ozer *et al.*, (2005, p. 5), Y. L'Hote *et al.* (2002, p. 568) et S. E. Nicholson (2013, p. 8).

De ce fait, la dynamique du couvert végétal résulte à la fois de la variabilité climatique et des pressions anthropiques. La période 1985–2000, marquée par une baisse des pluies et des températures élevées, a entraîné le recul de certaines formations végétales, tandis que la reprise pluviométrique après 2000 a favorisé la régénération de la végétation continentale et l'expansion des vasières. En revanche, le léger recul de la mangrove est lié à l'hydrodynamique (marée haute et marée basse) et à l'augmentation des terres salées au niveau des estuaires du Sine et du Saloum. En effet, E. H. B. Dieye *et al.*, (2013, p.11) soulignent que de 2001 à 2010, les terres salées de l'estuaire du Saloum ont augmenté de près de 40 %, alors que la mangrove constitue une espèce végétale dont la croissance et le développement nécessite une quantité importante d'eau douce apportée par la pluie. (E. H. Sow et T. Bâ, 2019, p.482).

Même si les facteurs climatiques constituent le moteur principal des dynamiques végétales, la part des pressions anthropiques demeure tout aussi important dans ce dynamisme. L'urbanisation à Mbour liée au tourisme, l'exploitation du bois de filao par les pêcheurs à Joal et Ngazobil, ainsi que le développement des infrastructures touristiques ont largement contribué à la dégradation et à la

fragmentation du couvert végétal. Les travaux de A. Gabriela et *al.*, (2006, p. 15) ont suggéré que l'utilisation des ressources naturelles par les populations locales à travers les pratiques traditionnelles de pêche, de cueillette et de prélèvement de bois de chauffe ne semble pas, à elle seule, menacer l'environnement. Avec la sécheresse de la fin des années 1960 et l'effondrement des cours de l'arachide, les paysans ont procédé, d'une part au défrichement d'espaces de savane et d'autre part, à la dégradation des systèmes agroforestiers menant à d'importants déboisements (J. Andrieu et C. Mering, 2008, p. 114). Aussi, la pression démographique forte et croissante (+ 17 à + 60 % d'augmentation entre 2002 et 2013) (B. Faye et *al.*, 2019, p.82) et les nouvelles formes de spéculation foncière liées au développement touristique autour de Mbour et Saly modifient en profondeur l'interface homme-nature dans cette zone.

Face à cette double contrainte naturelle et anthropique, des stratégies de protection et conservation de cet écosystème à travers la reforestation des mangroves s'imposent comme une réponse prioritaire. En effet, les mangroves, une fois matures, permettent de fixer les sols et d'empêcher l'inondation des villages environnants, tout en capturant le carbone rejeté dans l'atmosphère (APA News, 2022). Plus largement, cette politique de régénération des mangroves s'inscrit dans le cadre des engagements internationaux du Sénégal (Convention-cadre des nations unies sur le changement climatique, Accords de Paris...) et contribue à l'élaboration et la mise en œuvre du Plan National d'Adaptation (PNA).

Conclusion

L'analyse pluviométrique sur la période 1961-2024 a mis en évidence une forte irrégularité. Après une phase humide dans les années 1960, les décennies 1970-1990 ont été marquées par une forte diminution des précipitations, correspondant à la grande sécheresse sahélienne. À partir des années 2000, on observe une reprise progressive des pluies, plus prononcée au sud de la zone, cadrant avec la station de Fatick. Ces fluctuations pluviométriques constituent un facteur déterminant pour la dynamique du couvert végétal. En effet, l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol entre 1985 et 2020 révèle des transformations importantes et contrastées en fonction de la variabilité climatique. Outre cette variabilité climatique, le dynamisme du couvert végétal traduit au l'influence des activités humaines telles que l'urbanisation galopante, l'agriculture, la pêche, le tourisme et les aménagements. Malgré ces pressions, les initiatives de gestion durable et de restauration des écosystèmes contribuent à renforcer la résilience du milieu. Cette étude souligne ainsi l'importance d'une gestion intégrée des ressources naturelles pour préserver l'équilibre écologique et assurer une occupation durable du littoral sénégalais.

Références

- ACKERMANN Gabriela, ALEXANDRE Frédéric, ANDRIEU Julien, MERING Catherine, OLLIVIER Claire, 2006 : « Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur la Petite Côte et dans le delta du Sine-Saloum (Sénégal) ». *Revue Vertigo*, vol. 7, n°2. DOI : 10.4000/vertigo.2206, 18p.
- ALI Abdou et LEBEL Thierry, 2008 : « The Sahelian Standardized Rainfall Index Revisited », *International Journal of Climatology*, n°12, p. 1705- 1714, Online, accessed 16 August 2023, URL : <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.1832>, DOI : <https://doi.org/10.1002/joc.1832>
- ANDRIEU Julien, MERING Catherine, 2008 : « Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest-africaine : exemple des Rivières du Sud du delta du Saloum (Sénégal) au Rio Geba (Guinée Bissau) ». *Télédétection*, 8 (2), p. 93-118.
- BODIAN Ansoumana, 2014 : « Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest) ». *Physio-Géo*. Vol 8, pp. 297-312
- DESCROIX Luc, DIONGUE Niang Aïda, PANTHOU Gérémy, BODIAN Ansoumana, SANE Youssouph, DACOSTA Honoré, MALAM Abdou Moussa, VANDERVAERE Jean-Pierre et QUANTIN Guillaume, 2015 : « Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : la Sénégambie et le Bassin du Niger Moyen », *Climatologie*, 12, p. 25-43.

- DIEYE E.H.B., DIAW M.T., SANE T., NDOUR N., 2013 : « Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Senegal) entre 1972 et 2010 ». *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, 27p. DOI : 10.4000/cybergeo.2567
- FAYE Bineta, TINE Dome, NDIAYE Dethié, DIOP Cheikh, FAYE Guilgane et NDIAYE Aminata, 2019 : « Évolution des terres salées dans le nord de l'estuaire du Saloum (Sénégal) ». *Revue Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 25, n°2, pp. 81-90.
- FOSSOU R.M.N., LASM T., SORO N., SORO T., SORO G., DE LASME O.Z., BAKA D., ONETIE O.Z., OROU R., 2015 : « Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au centre est de la Cote d'Ivoire (Afrique de l'ouest) ». *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°21, March 2015, pp. 87-110
- GIEC, 2022 : *Changement climatique 2022 : impacts, adaptation et vulnérabilité*. Contribution du Groupe de travail II au Sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (AR6), 67p.
- HUBERT P., CARBONEL J.P., 1987 : « Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest ». *Journal de l'hydrologie*, 95, 165-183.
- HUBERT P., SERVAT E., PATUREL J. E., KOUAME B., BENDJOUDI H., CARBONNEL J. P., LUBES-NIEL H., 1998 : « La procédure de segmentation, dix ans après ». *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century* (proceedings of the Abidjan'98 Conference held at Abidjan, Côte d'Ivoire November 1998). IAHS Publ. no, 252, p. 267-273.
- L'HOTE Yann, MAHE Gil, SOME Bonaventure and TRIBOULET Jean Pierre, 2002 : « Analysis of a Sahelian Annual Rainfall Index from 1896 to 2000 : the Drought Continues », *Hydrological Sciences*, n°47, p. 563-572.
- LUBES-NIEL H., MASSON J. M., PATUREL J. E., SERVAT E., 1998 : « Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques ». *Revue des sciences de l'eau*, 3, 383-408.
- NDONG Jean. Baptiste, 1995 : « L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement. » In *Revue de géographie de Lyon*. Vol. 70 n°3-4, 1995. Sahel, la grande sécheresse. pp. 193-198.
- NICHOLSON Sharon E., 2013 : « The West African Sahel : A Review of Recent Studies on the Rainfall Regime and Its Interannual Variability » *ISRN Meteorology*, Volume 2013 | Article ID 453521, Online, accessed 16 August 2023, URL : <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/453521/>, DOI : <https://doi.org/10.1155/2013/453521>
- SAGNA Pascal, NDIAYE Ousmane, DIOP Cheikh, DIONGUE Niang Aïda, SAMBOU Pierre Corneille, 2015 : « Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? ». *Pollution atmosphérique*, 227, 17 p.
- SADIO Syaka, 1991 : *Pédogénèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides et salés des tannes du Sine Saloum, Sénégal*. Thèse de Doctorat, Paris : ORSTOM, 283p.
- SOW El Hadji, BA Taïbou, 2019 : « Evolution de la mangrove de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum, Sénégal ». *European Scientific Journal*. Vol. 15, n°15, pp. 468-486. URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n15p467>
- WEISSENBERGER Sébastien, NOBLET M., PLANTE S., CHOUINARD O., GUILLEMOT J. et al., 2016 : « Changements climatiques, changements du littoral et évolution de la vulnérabilité côtière au fil du temps : comparaison de territoires français, canadien et sénégalais ». *Vertigo* 2016, Vol. 16 n°3, DOI : 10.4000/vertigo.18050, 43p.
- YADE Djiby., 2022 : *Érosion côtière et stratégies d'adaptation face à la variabilité climatique sur la Petite Côte sénégalaise : cas des communes de Mbour et de Sahy Portudal*. Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, 132p.