



Revue des Sciences Sociales

Numéro 1 | 2023

Varia – juin 2023

CONTRIBUTION DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE DANS L'ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA MANGROVE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE : DU SALOUM (SENEGAL) AU RIO GEBA (GUINEE-BISSAU)

CONTRIBUTION OF SATELLITE IMAGERY IN THE ANALYSIS OF MANGROVE EVOLUTION IN A CONTEXT OF CLIMATE CHANGE : FROM THE SALOUM (SENEGAL) TO THE RIO GEBA (GUINEA-BISSAU)

Dome **TINE** – Mbagnick **FAYE** – Mamadou **THIOR**

RÉSUMÉ

Le développement du couvert végétal est toujours tributaire des conditions pédoclimatiques. L'altération de ces conditions impacte négativement sur la végétation. L'objectif de cette contribution est d'analyser l'évolution de la mangrove dans un contexte de changement climatique. La méthodologie adoptée repose sur l'analyse de l'indice de précipitation standardisé (IPS), la cartographie diachronique des formations de mangrove à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat (1985, 2000 et 2022) et une analyse du risque de sécheresse basée sur les indicateurs de sécheresse dont le TCI, le VCI et le VHI calculés sur la base des données MODIS acquises entre mai et novembre 2022. Les résultats de l'IPS montrent une évolution contrastée de la pluviométrie avec la prédominance des années sèches. L'analyse des indicateurs de sécheresse tels que le VCI et VHI

révèle un gradient décroissant du sud vers le nord, ce qui indique des conditions climatiques favorables au développement de la végétation au sud et qui se dégradent au fur et à mesure que l'on se dirige vers le nord. La dynamique de l'occupation du sol montre une diminution de 0,99% des superficies de la mangrove entre 1985 et 2000 et une augmentation de 1,17% entre 2000 et 2022. On note également une densité très faible en 1985 avec un NDVI évoluant en dessous de 0,4 et qui devient très fort en 2022 où les valeurs varient entre 0,40 et 0,74.

Mots clés : Changement climatique, mangrove, sécheresse, Saloum, Rio Gèba.

ABSTRACT

The development of vegetation cover is always dependent on soil and climatic conditions. The alteration of the latter has a negative impact on the vegetation. The objective of this contribution is to analyse the evolution of the mangrove in a context of climate change. The methodology adopted is based on the analysis of the standardised precipitation index (SPI), the diachronic mapping of mangrove formations using Landsat satellite imagery (1985, 2000 and 2022) and an analysis of the risk of drought based on drought indicators including the TCI, VCI and VHI calculated on the basis of MODIS data acquired between May and November 2022. The results of the SPI show a contrasted evolution of rainfall with the predominance of dry years. The analysis of drought indicators such as VCI and VHI shows a

decreasing gradient from south to north, indicating favourable climatic conditions for vegetation development in the south, which deteriorate as one moves northwards. Analysis of the land use results reveals a decrease of 0.99% in mangrove area between 1985 and 2000 and an increase of 1.17% between 2000 and 2022. We also note a very low density in 1985 with an NDVI evolving below 0.4 and which becomes very strong in 2022 where the values vary between 0.40 and 0.74.

Keywords : Climate change, mangrove, drought, Saloum, Rio Gèba.

INTRODUCTION

Le changement climatique et la perte de biodiversité sont deux principaux défis auxquels font face les populations et les écosystèmes littoraux (Andriatsiaronandroy et al., 2017 : 41). L'évolution des régimes pluviométriques est susceptible d'influencer la distribution, l'étendue ainsi que le taux de croissance des palétuviers. Les écosystèmes de mangrove sont particulièrement menacés depuis plusieurs décennies (Roche & Van Cu, 2015 : 2). Les mangroves sont des zones riches en ressources halieutiques (poissons, crevettes, huîtres etc...) mais elles constituent aussi des sources d'approvisionnement de bois de chauffe et de bois d'œuvre. Elles offrent une multitude de fonctions qui engendrent de nombreuses activités et stratégies d'exploitation, en rapport avec les besoins vitaux des populations dans un environnement naturellement instable. La frange littorale du Sud du Sénégal et de la Guinée-Bissau est caractérisée par des formations végétales de mangrove qui jouent un rôle protecteur du littoral contre l'érosion.

La baisse de la pluviométrie observée depuis les années 1970 et le réchauffement global de la terre ont contribué à augmenter l'évaporation, l'extension des tannes et la recrudescence des phénomènes éoliens (Dièye et al., 2013 : 2).

Les changements climatiques récents se traduisent par plusieurs façons dans les écosystèmes de mangrove. Les régimes de salinité des eaux, notamment dans le domaine septentrional, ont été fortement modifiés ces dernières années. C'est ainsi que dans certains cours d'eau, la succession des années sèches a fait sensiblement reculer les limites tidales, et les fronts de salinité ont parfois remonté loin en amont. C'est le cas du Saloum et de la Casamance. Des cas limites d'hypersalinité sont même décrits dans les estuaires du Saloum et de la Casamance (Cormier Salem, 1994 : 37).

Face aux aléas climatiques, il est nécessaire d'effectuer une étude diachronique en se basant sur les techniques de la télédétection afin de déterminer les tendances évolutives de la mangrove. Toute tentative d'établissement de stratégies visant à protéger ces ressources naturelles doit se fonder sur une connaissance parfaite du milieu concerné. Généralement, les formations végétales trouvent un moyen d'expression dans la télédétection et les techniques qui leur sont associées. Les données numériques permettent d'envisager à court terme le recours à de nouvelles techniques d'analyse spatiale susceptibles d'apporter de nouveaux éclairages sur l'organisation des forêts et leurs dynamiques. L'analyse diachronique, utilisée depuis longtemps

pour appréhender les transformations de l'espace, est une démarche qui effectue une étude comparative, par superposition, voire juxtaposition des différents documents traités. Les forêts de mangroves sont menacées par le changement climatique bien qu'elle soit, à la fois, un outil de lutte contre celui-ci. L'objectif de cette contribution est d'analyser l'évolution de la mangrove à l'aide de l'imagerie satellitaire dans un contexte de

fluctuations climatiques. De façon spécifique, il s'agit d'analyser l'évolution de la pluviométrie et de la dynamique de l'occupation du sol, et d'évaluer les risques de sécheresse météorologique de l'espace d'étude. Les résultats portent sur l'analyse de la variabilité pluviométrique, de l'évolution l'occupation du sol, de l'évolution de densité de la mangrove et de l'évaluation du risque de sécheresse météorologique.

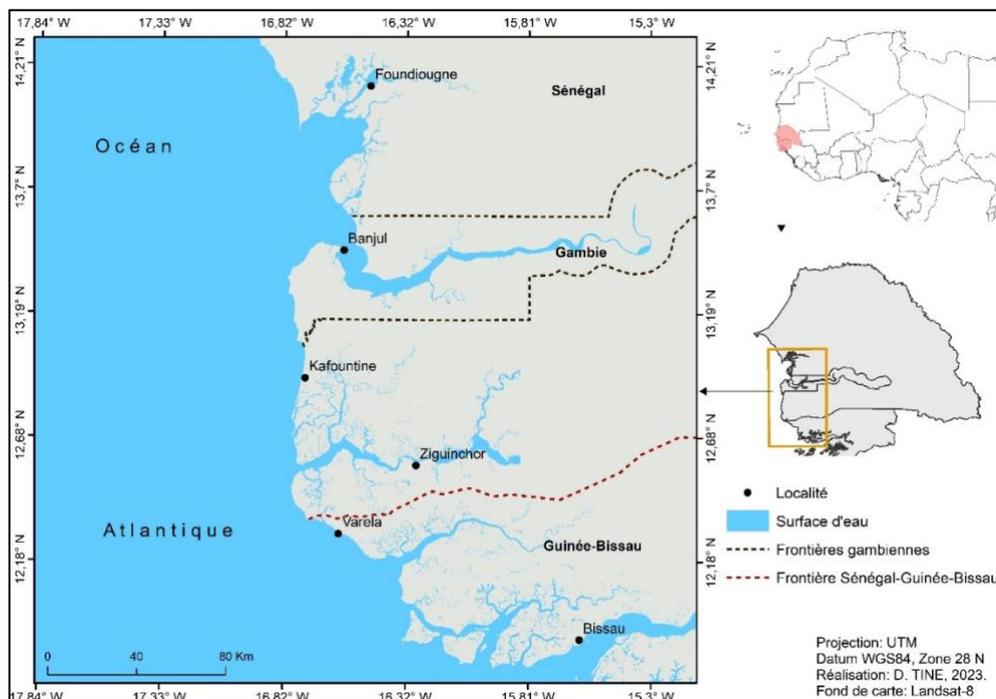
1. DONNÉES ET MÉTHODES

1.1. Zone d'étude

L'espace étudié est situé entre 12°18' et 14°21' latitudes Nord et 16°82' et 15°30' longitudes Ouest (Figure 1). C'est une frange littorale soumise continuellement à la remontée des eaux marines en raison de la platitude du relief. Ce qui entraîne une augmentation de la salinité des sols de mangrove. Les formations géologiques appartiennent à la partie méridionale du bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien. Ce bassin sénégalo-mauritanien qui s'est mis en place avec l'ouverture de l'Atlantique central au Jurassique, présente une couverture sédimentaire diversifiée. Il est d'âge méso-cénozoïque, et repose sur un substratum d'âge Précambrien à Paléozoïque. Il s'étend du Cap Blanc en Mauritanie au Cap Roxo en Guinée Bissau et continue en mer entre le X^e et le

XXI^e parallèle, sur une bande de 200 km en moyenne, avec une largeur maximale de 560 km sur la latitude de Dakar (Tine et al., 2022a : 75). Le cycle pluviométrique saisonnier est très contrasté avec une longue saison sèche qui dure pratiquement 7 à 8 mois et une courte saison pluvieuse de 4 à 5 mois. La végétation est caractérisée par des formations de mangrove, composée de palétuviers et caractéristiques des milieux saumâtres. La mangrove comme écosystème particulier fait la jonction entre le continent et la mer. Elle est assimilée à un marais, une zone géomorphologique proche du niveau supérieur des marées, sur laquelle des végétaux particuliers (palétuviers) se développent.

Fig. 1: Situation géographique de la zone d'étude



1.2. Méthode d’analyse de l’évolution pluviométrique

L’analyse de l’évolution de la pluviométrie est basée d’une part sur les réanalyses de ERA-40 dont les données remontent jusqu’en 1957 et d’autres part sur les données CHIRPS (données pluviométriques journalières) disponibles depuis 1981. Ces données sont compilées avec celles issues de la station météorologique de Ziguinchor, du poste pluviométrique de Foundiougne, de WorldClim et aux données CHIRPS de la partie Guinéenne afin de reconstituer les séries chronologiques de 1961 à

2020. L’indice pluviométrique standardisé (IPS) est utilisé pour caractériser la variabilité pluviométrique. L’indice se calcule selon la formule :

$$IPS = \frac{(Xi - Xm)}{Si} \text{ où } (1)$$

X_i = cumul de la pluie pour une année i ;
 X_m = moyenne annuelle des pluies selon la période donnée ;
 S_i = 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 : 6) à travers différentes classes qui déterminent des critères d’appréciation (tabl.1).

Tabl. 1: Échelle d’interprétation de l’indice pluviométrique standardisé (IPS)

Valeurs de l’IPS	Appréciations
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sèche
de -1,5 à -1,99	Très sèche
-2 et moins	Extrêmement sèche

Source : Auteurs, 2023.

1.3. Cartographie de la mangrove

Les données utilisées sont des images Landsat TM de 1985, Landsat ETM+ de 2000 et Landsat 8 OLI (tabl. 2). Les données Landsat-8 sont fournies en réflectance apparente ou au sommet de l’atmosphère (TOA) donc elles ne nécessitent pas

de calibration radiométrique. Les images choisies sont acquises en saison non pluvieuse notamment entre le mois d’avril et le mois de mai afin d’éviter toute influence de la végétation herbacée saisonnière qui se développe en saison pluvieuse.

Tabl. 2 : Caractéristiques spectrales et spatiales des images satellites Landsat utilisées

Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'onde	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'onde	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'onde	Résolution
OLI	2022	2- Bleu	0,45-0,51 μm	30 m
		3- Vert	0,52-0,60 μm	
		4- Rouge	0,63-0,68 μm	
		5- PIR	0,84-0,88 μm	
		6- SWIR 1	1,56-1,66 μm	
		7- SWIR 2	2,10-2,30 μm	

Source : Auteurs, 2023

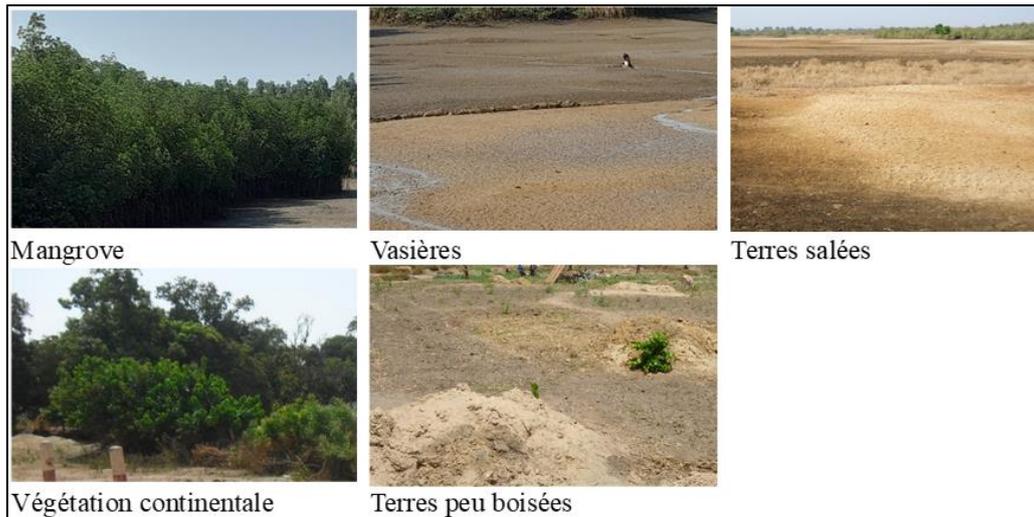
1.3.1. Classification des images satellitaires

Le domaine des mangroves est un mélange de portions d'eau et de vasières. Leur réflectance spectrale peut connaître des variations importantes en fonction de la mixité du pixel. Ces éléments caractéristiques des milieux marins peuvent modifier considérablement le signal réfléchi. Les techniques de télédétection à haute résolution spatiale, permettent d'établir de façon très précise, avec une faible marge d'erreur les étendues de mangrove. Dans cette contribution, l'extraction de l'information à partir des images satellitaires est effectuée par classification supervisée basée pixel. La méthode supervisée avec le classifieur support vector machine (SVM) a été utilisée. C'est un algorithme réputé pour son efficacité à résoudre des problèmes de discrimination et de régression et à classifier des données complexes afin de produire de bons résultats. Le protocole repose sur des zones d'entraînement fournies par l'utilisateur qui permettent à l'algorithme d'y effectuer un apprentissage sur la base des réponses spectrales des objets et de classifier l'image.

1.3.2. Description des classes d'occupation du sol

Pour identifier les classes thématiques retenues, une composition colorée "infrarouge fausses couleurs" a été utilisée. Elle associe les bandes proches infrarouges, rouge et vertes du capteur aux couleurs rouge verte et bleue de l'écran. Elle exploite la particularité du spectre réfléchi par les végétaux, qui présente un "pic" important dans le proche infrarouge. Sur une image en "fausses couleurs infrarouge", la végétation qui a une forte activité photosynthétique apparaît en rouge. Cette composition colorée a permis d'identifier les classes d'occupation du sol telles que la mangrove, qui apparaît sur l'image en couleur rouge foncé et caractérise les domaines estuariens le long des châteaux d'eau salées, les terres salées qui sont dépourvues de végétation et inaptées à l'agriculture, les vasières qui sont des zones inondables localisées au bord des cours d'eau et la limite des estuaires, végétation continentale constituée de forêts denses et de forêts clairsemées et les terres peu boisées qui sont des vastes étendues parsemées d'arbres et couvertes de matières organiques (fig. 2).

Fig. 2: Les principales classes d'occupation du sol identifiées sur le terrain



Source : Auteurs, 2023

1.3. Analyse du risque de sécheresse

Les images satellitaires du capteur NOAA/AVHRR à basse résolution spatiale couvrant la période mai 2022 à novembre 2022 ont été traitées. Une synthèse mensuelle a été appliquée en calculant le maximum et le minimum afin de réduire le volume de données acquises et les différentes sources de perturbations qui affectent la variabilité temporelle des différents paramètres (Bijaber et al. 2017 : 206). Des images du spectromètre imageur à résolution moyenne MODIS ont été également utilisées. Ces données MODIS sont caractérisées par différentes résolutions spatiales : 250 m pour les bandes spectrales 1 et 2, 500 m pour les bandes 3 à 7 et 1000 m pour toutes les bandes spectrales entre 8 et 36 (Bijaber, 2015 : 17). La caractérisation de la sécheresse est basée sur le calcul des indices tels que le VCI (Vegetation Condition Index), le TCI (Temperature Condition Index) et le VHI (Vegetation Health Index) produits à l'aide du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et les températures de surface au sol (LST). Il est obtenu en faisant le rapport suivant :

$$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R} \quad (2)$$

L'indice NDVI est compris entre -1 et +1. Les valeurs négatives désignent les types de surface à couvert non végétal, comme la neige, l'eau ou les nuages et pour lesquelles la réflectance dans le Rouge est supérieure à celle du Proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même

ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales, quant à elles, possèdent des valeurs de NDVI positives. Plus la valeur est élevée, plus le couvert végétal est dense. Le résultat du calcul de l'indice NDVI est une image en niveaux de gris. Le NDVI est utilisé pour calculer le VCI et d'analyser l'évolution de la densité de la mangrove.

L'Indice des conditions de végétation (VCI) évalue l'état de santé de la végétation par rapport aux situations extrêmes (min et Max). Il utilise les valeurs minimales, maximales et courantes du NDVI de la même décennie sur plusieurs années (Layelmam, 2008 : 13). Le VCI permet de comparer l'effet du climat sur la végétation sur des aires d'étude non homogènes. Cet indice exprime en pourcentage le niveau de croissance atteint par la végétation dans chaque zone à une date donnée par rapport au maximum de croissance enregistré dans les années précédentes à la même date (Bijaber et al. 2017 : 207). Si le VCI est proche de 0%, cela signifie que la végétation est en état de dégradation pendant qu'un VCI proche de 50% révèle un accroissement moyen de celle-ci. Un VCI compris entre 50% et 100% indique des conditions de végétation optimales ou supérieures à la normale. Le VCI est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$VCI = \frac{NDVI(i) - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100 \quad (3)$$

Où NDVI (i) est le NDVI de la période étudiée, NDVI min : le NDVI minimum de la période étudiée et NDVI max : le NDVI maximum de la période étudiée.

Le VCI est corrélé au NDVI. Un VCI très faible reflète un NDVI qui se rapproche du NDVI minimum. Un VCI élevé reflète un NDVI qui se rapproche du NDVI maximal. En d’autres termes, les valeurs basses du VCI représentent des conditions de stress en eau alors que les valeurs élevées du VCI représentent des conditions favorables (Layelmam, 2008 : 23).

L’indice de condition de température est calculé à l’aide des températures de brillance afin de minimiser l’influence de la couverture nuageuse pendant l’hivernage sur la réflectance de la végétation (Kogan, 2000 : 89). Le TCI permet de déterminer la température liée au stress de la végétation mais également au stress causé par une saturation du sol en eau. Le TCI représente l’écart entre la température du mois étudié par rapport aux valeurs de températures extrêmes enregistrées (maximum et minimum). Le TCI est calculé par la formule suivante :

$$TCI = \frac{LST \max - LST (i)}{LST \max - LST \min} * 100 \quad (4)$$

Où LST max est la température maximale de la période étudiée, LST min : la température minimale de la période étudiée et LST (i), la température de surface du mois concerné.

L’indice de santé de la végétation (VHI) est un indice composé d’un ensemble de sous-indices liés à l’état de la végétation tels que le VCI et le TCI. L’indice de santé de la végétation et ses sous-indices sont utilisés à diverses fins, notamment pour détecter et surveiller les phénomènes de sécheresse et les risques d’incendie. Selon Kogan (1997 : 621), la combinaison du VCI et du TCI constitue une source utile d’informations sur le stress causé à la végétation par la sécheresse. C’est aussi un outil utile afin de surveiller presque en temps réel les conditions de la végétation et l’impact du climat sur celle-ci. L’indicateur de santé de la végétation (VHI) illustre la gravité des sécheresses en se basant sur l’état de la végétation et l’influence des températures sur les conditions des plantes. Une diminution du VHI indique, un état de la végétatif relativement mauvais et une augmentation des températures, ce qui signifie que les conditions de végétation sont soumises à un stress, voire une sécheresse sur une longue période. Le VHI est calculé par la formule suivante :

$$VHI = \alpha * VCI + (1 - \alpha) * TCI \quad (5)$$

Où α est la contribution relative du VCI et du TCI dans le VHI et est égal 0,5 en supposant une même contribution des deux indices et aussi en raison d’absence d’informations plus précises (Kogan, 2000 : 89).

Tabl. 3 : Échelle d’interprétation du VHI.

Classification du VHI (%)	
Sécheresse extrême	0-10
Sécheresse sévère	10-20
Sécheresse modérée	20-30
Sécheresse légère	30-40
Pas de sécheresse	> 40

Source : Auteurs, 2023.

L’application de ces indices permet d’apprécier spatialement le degré de sécheresse météorologique dans l’espace étudié.

2. RÉSULTATS ET ANALYSE

2.1. Évolution de la pluviométrie

L'espace étudié est caractérisé par une variabilité pluviométrique très contrastée suivant un gradient nord-sud. Les précipitations diminuent des régions guinéennes vers le Sahel et le Sahara. Elles sont marquées par une fréquence des épisodes de sécheresse dont les plus marquants datent des années 1970, 1980 et 1990.

L'analyse de l'indice de précipitation standardisée (IPS) par station montre l'existence de périodes sèches et humides. Les résultats issus du calcul de l'IPS par station, montrent que les variations annuelles des précipitations proches de la normale dominent les séries chronologiques mais restent cependant, déficitaires par rapport à la moyenne (tabl. 4). Les années pendant lesquelles les

précipitations sont proches de la normale représentent 67% sur les 60 ans d'observation à la station de Ziguinchor, 73% à la station de Foundiougne et 75% à la station de Bissau. Le cumul des années où les précipitations sont supérieures à la normale représente respectivement 16%, 10% et 11% à Ziguinchor, Foundiougne et Bissau tandis que le cumul des années où les précipitations évoluent en dessous de la normale classé modérément sèche, très sèche et extrêmement sèche représentent 16%, 17% et 13% à Ziguinchor, Foundiougne et Bissau. Ces périodes déficitaires sont essentiellement observées entre 1970 et 2008 sur l'ensemble des stations. Cette période connaît une légère sécheresse avec une probabilité d'occurrence d'une fois tous les 3 ans.

Tabl. 4 : Proportions (en %) d'années sèches et humides au niveau des stations retenues

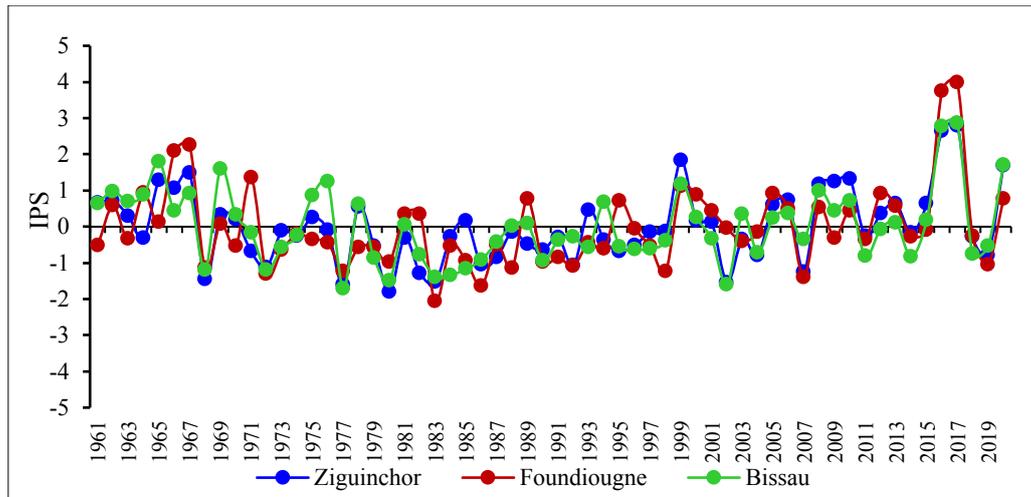
Interprétation	Ziguinchor	Foundiougne	Bissau
Sécheresse extrême	0	2	0
Très Sèche	3	2	3
Modérément sèche	13	13	10
Proche de la normale	67	73	75
Modérément humide	10	3	3
Très humide	3	0	5
Extrêmement humide	3	7	3

Source : Auteurs, 2023.

L'analyse de l'IPS montre trois phases d'évolution. Une première phase, dont l'évolution est presque identique pour les trois stations, marquée par une variabilité faiblement contrastée avec une fréquence d'années humides entre 1961 et 1969. La deuxième phase commence à partir des années 1970 et s'étend sur une longue période de

sécheresse communément appelé la rupture climatique, jusqu'en 2007, malgré quelques années avec un indice positif. La troisième phase, marquée par une amélioration de la pluviométrie, est comprise entre 2008 et 2020. Elle est considérée comme un retour à de meilleures conditions pluviométriques (fig. 3).

Fig. 3 : Indice de pluviométrie standardisée (IPS) calculé sur la période 1961-2020 aux stations de Foundiougne, Ziguinchor et Bissau.



Source : Auteurs, 2023

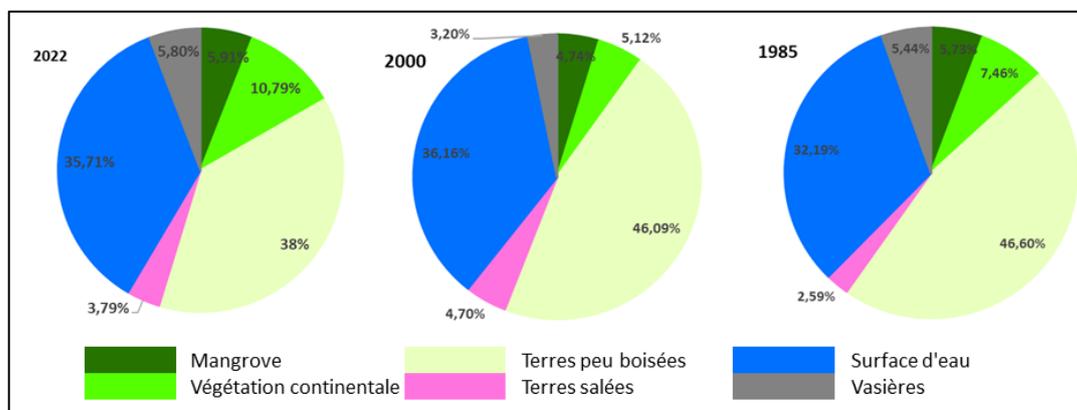
Cette variabilité pluviométrique constitue un élément qui conditionne la dynamique du milieu physique. L'incidence de la variabilité pluviométrique se manifeste par la salinisation des terres qui affecte l'agriculture et les productions agricoles, la réduction du débit et le tarissement des fleuves, la remontée du biseau salé et inondation des milieux littoraux, salinisation de la nappe qui altère la qualité de l'eau potable. Les espèces végétales comme la mangrove sont menacées par une augmentation de la concentration en sel, la hausse des températures et l'élévation du niveau marin.

2.2. Évolution de l'occupation du sol

La cartographie réalisée à partir des images satellitaires Landsat, permet de suivre l'évolution de la mangrove, d'identifier et de quantifier les superficies occupées durant chaque

période analysée. Les résultats de l'analyse diachronique montrent que la mangrove occupe 5,7% de la superficie totale de l'espace étudié en 1985 contre 4,7% en 2000 et 5,9% en 2022. Entre 1985 et 2000, la mangrove a connu une légère diminution de 0,9% de ses superficies. Il faut noter que le déficit pluviométrique des années 1980 a fortement éprouvé cet écosystème avec une baisse notable des superficies de mangrove entre 1972 et 1986. En effet, la baisse des apports en eau douce, combinée à une forte évaporation et une pénétration des eaux marines, est à l'origine d'une augmentation de la salinité qui a participé grandement à la dégradation de la mangrove. La végétation continentale s'inscrit dans la même dynamique évolutive que la mangrove en enregistrant une baisse de ses superficies de 2,3% entre 1985 et 2000 (fig. 4).

Fig. 4 : Statistiques de l'évolution des classes thématiques retenues en 1985, 2000 et 2022



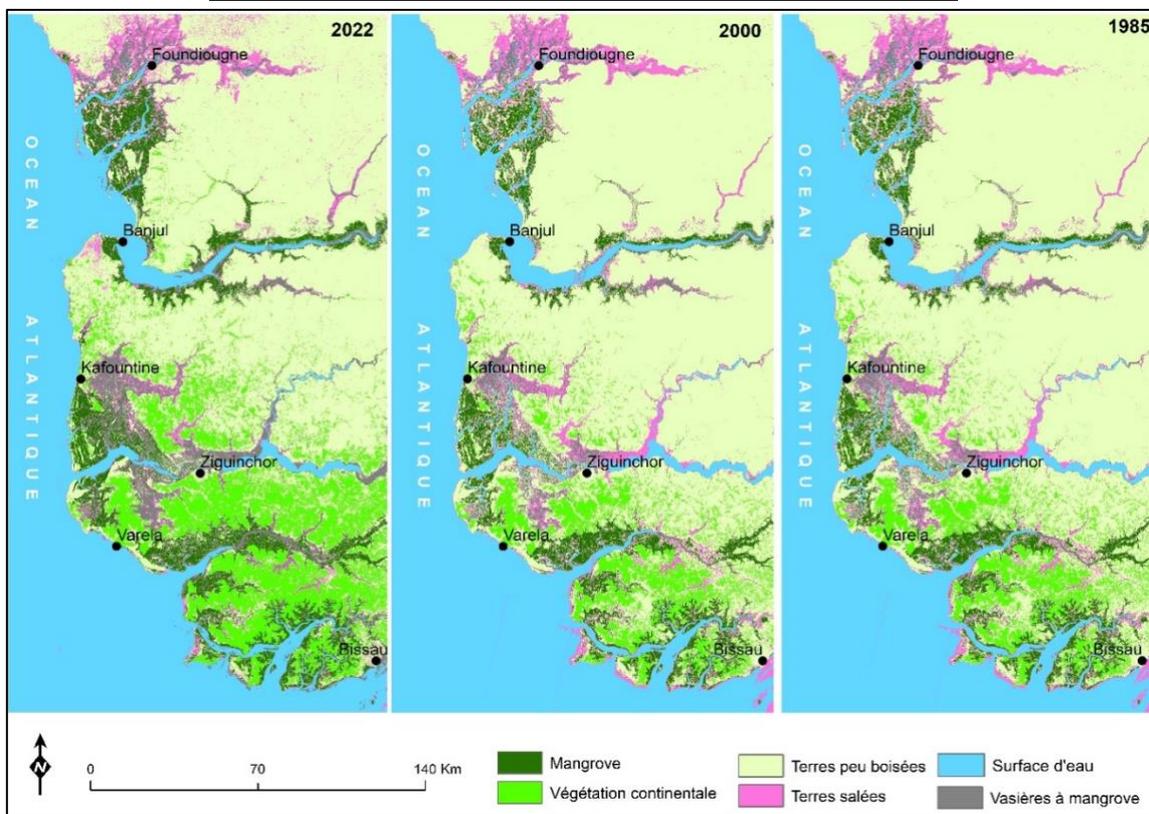
Source : Auteurs, 2023.

Cependant, entre 2000 et 2022, on note un développement de son emprise spatiale qui passe respectivement de 5,1% à 10,7% soit une augmentation de 5,6% de la superficie totale de l'espace étudié. Cette dynamique est également observée sur les terres salées qui occupent 2,5% de la superficie totale de la région en 1985 contre 4,7% en 2000 et 3,7% en 2022. La hausse des superficies de la mangrove, de la végétation continentale et des terres salées s'effectue aux dépens des terres peu boisées. Ces dernières constituent la seule unité d'occupation du sol qui a enregistré une baisse progressive de ses superficies en passant de 46,6% en 1985 à 46,1% en 2000 et à 38% en 2022. Les vasières couvrent 5,4% de la superficie totale en 1985 avant d'enregistrer une régression de 2,2% en 2000 suivie d'une augmentation de 2,6% en 2022. Rappelons que l'année 1980 correspond à la période sèche qui a commencé quelques années avant, dans le Sahel ouest africain. Les vasières étant constituées de sédiments et d'eau, le déficit pluviométrique intervenu peut justifier cette faible portion de l'espace qu'elles occupent. Cependant, les vasières étant souvent occupées par la mangrove, cette dernière constitue une limite dans la quantification de leur couverture spatiale par télédétection.

La végétation continentale suit un gradient nord-sud en raison des conditions climatiques propices à son développement. On note une raréfaction de celle-ci au fur et à mesure qu'on s'éloigne du littoral et des zones humides. Le couvert végétal dense est observé à la limite des formations de mangrove notamment en Basse Casamance et en région guinéenne. La mangrove, occupe tous les estuaires du Saloum, de la Casamance, du Rio Cacheu, du Rio Mansoa et du Rio Gêba mais également les deux rives de ces cours d'eau à la limite des estuaires.

Au niveau de l'estuaire du Saloum, une réduction des superficies des terres salées est observée spatialement entre 1985 et 2022. En effet, la période 1990-2010 est caractérisée par le retour sporadique des précipitations avec une moyenne des cumuls annuels de 1299 mm qui est légèrement supérieure à celle de la période 1968-1989 qui était de 1169 mm (Base de données ANACIM, 2020). Cette baisse généralisée de la salinisation suite à une reprise pluviométrique explique également la hausse des superficies de mangrove. Le début des années 2000 est marqué par une régénérescence globale de la mangrove (fig. 5).

Fig. 5 : Evolution diachronique de l'occupation du sol en 1985, 2000 et 2022.

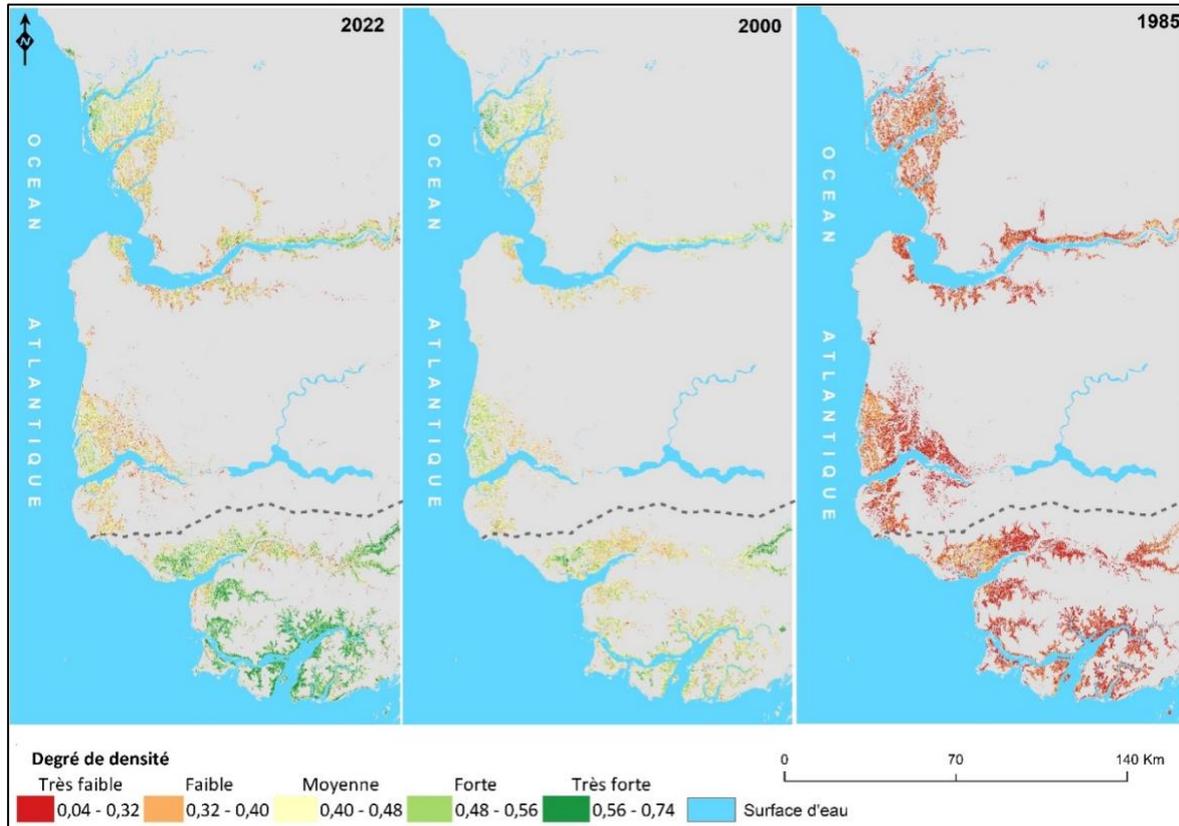


Source : Auteurs, 2023

2.3. Évolution de densité de la mangrove

L'indice de la mangrove de 1985 est globalement en dessous de 0,4 ce qui indique une végétation éparse et fortement éprouvée. En 2000, l'indice de la mangrove a connu une forte densité. La redynamisation de la mangrove est particulièrement assez bonne au niveau des estuaires du Saloum, de la Gambie, de la Casamance, du Rio Cacheu et du Rio Mansoa. La régénération de la végétation s'est nettement améliorée en 2022 avec une densité très forte (NDVI compris entre 0,56 et 0,74) au niveau des estuaires du Rio Cacheu et du Rio Mansoa en Guinée-Bissau (fig. 6).

Fig. 6 : Evolution de la densité de la mangrove en 1985, 2000 et 2022.



Source : Auteurs, 2023.

Cependant, on note toujours des régions où la densité de la mangrove reste très faible notamment le long du fleuve Gambie et dans l'estuaire de la Casamance et ses bordures. Après la période de sécheresse des années 1980 qui a impacté négativement la mangrove, on assiste à une régénérescence continue de cette dernière depuis 2000, avec une bonne densité en 2022 où le NDVI évolue au-dessus de 0,4. Cet état de la mangrove a des origines multiples notamment la mise en place de plusieurs projets et programmes de restauration et sauvegarde de la mangrove. Il s'agit par exemple le Plan d'Orientation pour le Développement Economique et Social 1996–2001, le Plan d'Action Forestier (2002-2004) qui met en exergue la

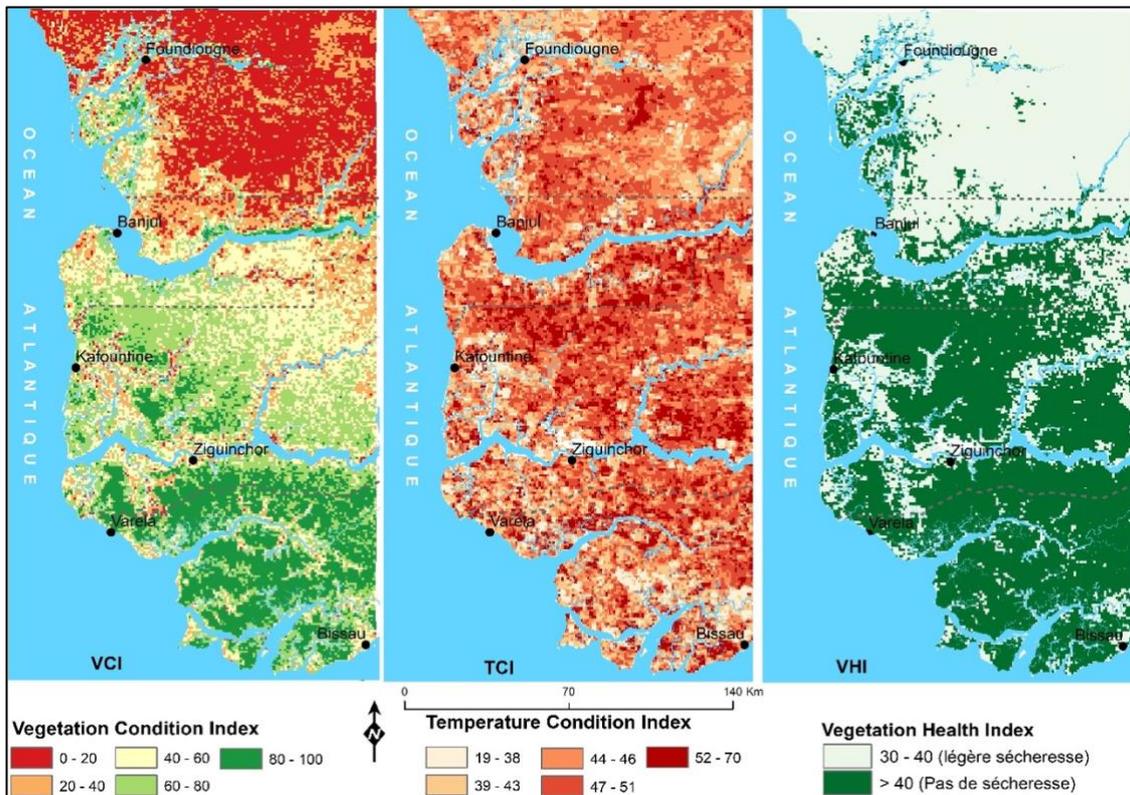
nécessité d'un aménagement des mangroves comme une des actions prioritaires dans le programme d'actions au niveau régional. Le programme de restauration de mangroves mené par l'ONG Livelihoods en 2011 en collaboration avec l'ONG Sénégalaise Oceanium dont l'objectif était de planter 79000 arbres et restaurer 7 920 ha a été satisfaisant. Il y a également le projet de gestion des forêts de mangroves du Sénégal au Bénin de l'UICN financé par l'Union Européenne (UE) dans le cadre de son programme PAPBio en 2018. L'objectif de ce projet est d'atteindre une protection intégrée de la diversité et des écosystèmes fragiles de Mangrove en Afrique de l'Ouest et leur résilience renforcée aux changements climatiques.

2.3. Évaluation du risque de sécheresse météorologique

Les trois indicateurs (VCI, TCI et VHI) calculés sur une période de sept (7) mois entre mai et novembre 2022 montrent la situation de la végétation et des températures dans le milieu étudié. L'indice de condition de végétation (VCI) renseigne sur les conditions de la végétation pour la même période par rapport aux valeurs extrêmes du NDVI. Il montre le niveau de dégradation où de régénération actuelle comparé à son niveau moyen sur la période de l'étude (2000-2022). L'analyse du VCI montre que l'estuaire du Saloum et ses bordures restent les zones où la mangrove est faible avec un VCI inférieur à 50 %. Cependant, la mangrove au sud de l'estuaire est dans un état

stable même si des faiblesses sont observables par endroit. De l'estuaire du Saloum et ses environs jusqu'à la rive droite du fleuve Gambie, le VCI évolue entre 0 et 20%. Ce qui indique que la végétation de cette partie de la région est en état de stress hydrique et/ou de dégradation. Les valeurs du VCI, indiquant des situations de végétation proches des valeurs maximales du NDVI, ont été dominantes sur la majorité de l'espace étudié. Elles sont localisées en Basse Casamance mais surtout en Guinée-Bissau (VCI variant entre 80 et 100%) en raison des conditions pluviométriques meilleures (fig. 7).

Fig. 7 : Variation spatiale des indices de sécheresse (VCI, TCI, VHI) entre mai et novembre 2022 dans l'espace étudié



Source : Auteurs, 2023.

Le TCI est calculé de la même manière que le VCI à partir des données NOAA/AVHRR. Les valeurs minimales du TCI correspondent à des températures maximales. Ce qui indique des conditions climatiques défavorables au développement de la végétation alors que les valeurs maximales du TCI correspondent à des températures de brillance proches des

températures minimales. L'analyse du TCI montre des conditions climatiques favorables à la croissance de la végétation notamment au sud de l'estuaire du Saloum, en Gambie, en Basse Casamance et en Guinée-Bissau avec des valeurs comprises entre 47 et 70%. Cependant, on observe des portions défavorables au développement du couvert végétal au niveau des limites estuariennes

du Saloum, de la Casamance et du Rio Mansoa où le TCI évolue entre 19 et 46%. La combinaison du VCI et du TCI permet d'apprécier les situations de sécheresse à travers le VHI lorsque les valeurs de cet indicateur sont inférieures à 40% (Kogan, 2002 : 553). L'analyse du VHI révèle une légère sécheresse (VHI compris entre 30 et 40%) dans quelques portions d'espace en Basse Casamance qui couvrent quasiment l'estuaire du Saloum et ses environs. Le VHI montre qu'il n'y a pas de sécheresse en Basse Casamance et en Guinée-Bissau avec un indice supérieur à 40%.

3. DISCUSSION

L'analyse de l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS) a mis en évidence la variabilité pluviométrique dans l'espace étudié. Les résultats de l'IPS montrent une évolution contrastée de la pluviométrie avec la prédominance des années sèches. Seule la période 1961-1970 est réputée humide. La grande sécheresse notée pendant les années 1970 s'est prolongée jusqu'aux années 1980 affectant ainsi les volumes de pluviométrie annuelle de l'espace étudié (Faye et al. 2022 : 2 ; Faye et al., 2021 : 40 ; Niasse et al., 2004 : 13). L'analyse des séries chronologiques ont toutes montré une sécheresse durant la période 1970-2008.

3.1. Une variabilité climatique au lieu d'un changement climatique

La variabilité climatique modifie le fonctionnement naturel des formations de mangrove notamment dans les régions sahéliennes. Les résultats issus de la cartographie diachronique de l'occupation du sol démontrent que la mangrove du sud du Saloum au Rio Gêba a été fortement impactée par les sécheresses des années 1970, 1980 et 1990 qu'a connu l'Afrique de l'Ouest (Soumaré et al., 2020 : 3). Entre 1985 et 2000, les étendues de mangrove se sont réduites laissant la place à la formation de tannes et de vasières. Une régression de 0,99% a été notée sur les superficies de mangrove soit 59985,72 ha par rapport à l'année 1985. Cependant, une augmentation de la superficie des terres salées est notée entre 1985 et 2000. Elles passent de 2,59%

en 1985 à 4,7% en 2000. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Tine et al. (2022a : 80) et de Dièye et al. (2016 : 8) qui montrent qu'une régénération relativement importante notée en 2018. Les terres peu boisées diminuent à chaque date contrairement aux autres unités d'occupation du sol.

3.2. Une évolution contrastée de la mangrove

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) qui renseigne par ailleurs sur la densité de la végétation montre que la mangrove est éparse et fortement éprouvée et que le NDVI évolue en dessous de 0,4 en 1985. Ces résultats concordent avec ce qui a été observé dans d'autres études (Faye et al., 2021 : 37) où il a été démontré que la mangrove a été fortement dégradée entre 1972 et 1986 suites aux années de sécheresse qui ont frappées le Sahel. Entre 2000 et 2022, période qui coïncide au retour à de meilleurs conditions pluviométriques, la densité s'est nettement améliorée. La régénération de la mangrove est particulièrement meilleure au niveau des estuaires du Saloum, de la Gambie, de la Casamance, du Rio Cacheu et du Rio Mansoa par rapport à la période 1985-2000. La régénération de la mangrove s'est nettement améliorée en 2022 avec une densité très forte notamment au niveau des estuaires du Rio Cacheu et du Rio Mansoa en Guinée-Bissau. Les valeurs du NDVI varie entre 0,56 et 0,74 et diminuent au fur et à mesure que l'on progresse vers le nord. La densité de la mangrove est corollaire aux cumuls pluviométriques annuels dont les plus importants sont enregistrés au sud (en Guinée-Bissau) avec une moyenne de 1800 mm par an. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Faye et al. (2022 : 37) qui indiquent que la mangrove a commencé à reprendre de la place à partir des années 2000 dans beaucoup de zones après quelques années de dégradation due incontestablement aux sécheresses des années 1970.

L'indice de végétation par différence normalisée a été également utilisé pour calculer les indicateurs de sécheresse tels que VCI, le TCI et le VHI afin de caractériser l'état du couvert végétal et d'apprécier l'ampleur du stress hydrique. Les résultats montrent un gradient du VCI et du VHI décroissant

du sud vers nord. Cette configuration indique des conditions climatiques favorables au développement de la végétation au sud. Elles se dégradent au fur et à mesure que l'on se dirige vers le nord. Le VHI montre une absence de sécheresse dans le sud notamment en Basse Casamance et en Guinée-Bissau malgré quelques espaces couverts par une sécheresse légère qui se sont étendus au nord dans le Sine-Saloum. Le TCI évolue entre 47 et 70% notamment au sud de l'estuaire du Saloum, en Gambie, en Basse Casamance et en Guinée-Bissau, ce qui indique des conditions climatiques favorables à la croissance de la végétation (Tine et al., 2022b : 163). Le TCI ne suit pas une tendance spatiale. Des portions d'espaces défavorables au développement du couvert végétal sont observables du nord au sud de l'espace étudié avec des valeurs comprises entre 19 et 46% et localisées au niveau des limites estuariennes du Saloum, de la Casamance et du Rio Mansoa. Comparées aux travaux de Marius (1995 : 123), ces zones de sécheresse ont longtemps été observées en Casamance où l'évolution se traduit par une reprise d'Avicennia aux-dépens du Rhizophora mangle et en Guinée Bissau avec la formation des tannes vifs.

CONCLUSION

L'analyse des tendances climatiques et le calcul de différents indices de végétation ont permis d'appréhender les tendances évolutives de la mangrove et de caractériser l'état actuel des conditions climatiques dans lesquelles se développe le couvert végétal dans la région. Les images satellitaires Landsat et MODIS/AVHRR traitées dans le cadre de ce travail sont avérées appropriées pour ces genres de problématiques à grande échelle. Il ressort de l'analyse diachronique une régression des superficies couvertes par la mangrove entre 1985 et 2000 suivies d'une progression de celles-ci entre 2000 et 2022. Quant à l'évolution de sa densité, elle suit une tendance à la hausse à partir de 2000 et se montre très forte en 2022. Cette régression notée entre 1985 et 2000 et la faiblesse de la densité pendant cette période sont liées à plusieurs facteurs dont la variabilité climatique, qui s'est manifestée par un déficit pluviométrique très contrastée, mis en évidence

par l'indice de précipitation standardisé (IPS), la baisse des débits des cours d'eau et la remontée de la langue salée, l'acidification des sols de mangrove. Les indicateurs de sécheresse montrent un gradient décroissant du sud vers le nord des conditions propices au développement de la végétation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BIJABER Nouredine, 2015. « Suivi et Alerte à la Sécheresse ». Rapport de synthèse, Projet LDAS-Maroc, 46p.

BIJABER Nouredine, ROCHDI Atmane, 2017. « Télédétection spatiale pour l'évaluation du risque de sécheresse au Maroc ». Revue internationale de géomatique, N° 2, pp. 203-221.

CORMIER-SALEM Marie-Christine, 1994. Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des Rivières du Sud (du Sénégal au Sierra Léone), Actes de l'atelier de travail de Dakar du 8 au 15 mai 1994, ORSTOM éditions, Colloques et Séminaires, Paris, 303 p.

DIEDHIOU Charles & TINE Dome, 2022. « Suivi multitemporel de l'évolution des plantes aquatiques envahissantes par télédétection au lac de Guiers, Sénégal », Afrique SCIENCE, 21(5), p. 163–176. Disponible en ligne : <https://www.afriquescience.net/PDF/21/5/14.pdf>

DIEYE El Hadji Balla, DIAW Amadou Tahirou, SANÉ Tidiane & NDOUR Ngor, 2013. « Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010 », Cybergeog: European Journal of Geography [En línea], Medio ambiente, Naturaleza, Paisaje, documento 629, Publicado el 09 enero 2013, consultado el 29 abril 2023. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/25671>

FAYE Gayane, TINE Dome, DIEDHIOU Charles, SENE Claude, SEYDI Alioune, NDOUR Mouhamadou Moustapha Mbacké, 2021. « Cloud Computing and Machine Learning for Analyzing Spatiotemporal Dynamics of Mangrove Ecosystems in the Grand Saloum (Senegal and Gambia) », American Journal of Environmental Protection, 9(1): 29-42. DOI: 10.12691/env-9-1-4.

FAYE Mbagnick, FAYE Bineta, FAYE Abdou Aziz, NIANG Gallo, TINE Dome, SARR Ibra et BOISSY Réné, (2021). « *Analyse de l'évolution de la pluviométrie au cours des six dernières décennies (1951 à 2010) dans l'Arrondissement de Fimela (Région de Fatick/Sénégal)* ». Revue Internationale Dônni, Vol.1, N°2, p. 228-242.

FAYE Mbagnick, TINE Dome, DIALLO Souleymane, SY Oumar Harouna, 2022. « *Analyse de la pluviométrie dans les rivières du sud : cas de la basse Casamance (Sénégal) au rio Gêba en république de Guinée* ». International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT), Vol. 34 N°1, p. 154-167.

KOGAN Félix, 1997. « *Global Drought Watch from Space* », Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 78, N° 4, pp. 621-636.

KOGAN Félix, (2000). Contribution of remote sensing to drought early warning. In "Improving drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. p. 65-85. Ed: Wilhite, D.A. Sivakumar, M.V.K. and Wood, D.A. Lisboa, Portugal, 86-100. Sept. 2000.

KOGAN Félix, 2002. « *World Droughts in the New Millennium from AVHRR-based Vegetation Health Indices* », Eos, Transactions, Amer. Geophys. Union, vol. 83, n°48, p. 562-563.

LAYELMAM Mohammed, 2008. Calcul des indicateurs de sécheresse à partir des images NOAA/AVHRR. Projet de Mise en place d'un Système d'Alerte précoce à la Sécheresse dans trois pays de la rive Sud de la Méditerranée : Algérie, Maroc, et Tunisie LIFE05 TCY/TN/000150, 37p.

MARIUS Claude, 1995. « *Effets de la sécheresse sur l'évolution des mangroves du Sénégal et de la Gambie* », Sécheresse, no 1/6, p. 123-125.

NIASSE Madiodio, AFOUDA Abel, AMANI Abou, 2004. Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : Eléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, XVIII, 71 p.

OMM (Organisation Météorologique Mondiale). 2012. Guide de l'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, éd. Temp-Climat-eau, Vol. 1090, Suisse.

ONJANAMBOARA Ricardo Andriatsiaronandroy, TAÏBI Aude Nuscia, DAVRANCHE Aurélie, BALLOUCHE Aziz, REJO-FIENENA Félicitée. « *Dynamique de la mangrove de la région du Sud-ouest de Madagascar face aux actions anthropiques et au changement climatique: L'exemple des formations à palétuviers* », Territoire d'Afrique, N°9, p. 41-51.

ROCHE Yann , VAN CU Pham, 2015. « *Les mangroves face aux changements climatiques : Le cas à la fois typique et particulier du Vietnam* », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], 2015, consulté le 20 janvier 2023. URL : <http://vertigo.revues.org/16600>

SAKHO Issa, 2011. Évolution et fonctionnement hydro-sédimentaire de la lagune de la Somone, petite côte, Sénégal. Thèse de doctorat en co-tutelle, Université de Rouen (France) / Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 253p.

SOUMARE Safiétou, FALL Ababacar, ANDRIEU Julien, MAREGA Oumar, DIEME Barnabé Ephrem Appolinaire, 2020. « *Dynamique spatio-temporelle de la mangrove de Kafountine dans l'estuaire de la Basse-Casamance des années 1972 à nos jours : Approche par télédétection* ». IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Vol. 10 (9), p. 01-14.

PATUREL Jean-Emmanuel, SERVAT Eric, DELATTRE Marie-Odile, LUBES-NIEL Hélène, 1998. « *Analyse de series pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahelienne dans un contexte de variabilité climatique* », Hydrological Sciences Journal, 43 : 6, 937-946, DOI :10.1080/02626669809492188

TINE Dome, FAYE Mbagnick, FAYE Gayane, FAYE Guilgane, 2022a. « *Analyse par imagerie satellitaire de la dynamique de l'occupation du sol dans les rivières du sud : de la basse casamance (sénégal) au rio gêba (guinée bissau)* », Revue Espaces Africains, N° 2, Vol. 1, p. 73-92.

TINE Dome, FAYE Mbagnick, FAYE Guilgane, 2022b.
«Rainfall Variability and Vegetation Cover Dynamics
in the Northern Part of the Southern Rivers: from
Basse Casamance (Senegal) to Rio Gêba (Guinea-
Bissau) », International Journal of Research and
Innovation in Social Science (IJRISS), Volume VI,
Issue IX, p. 159-166.

AUTEURS

Dome TINE
Département de Géographie - Laboratoire de Télédétection Appliquée (LTA)
Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (Sénégal)
Courriel : dometine85@gmail.com

Mbagnick FAYE
Département de Géographie
Laboratoire de Climatologie et d'études environnementale (LCE)
Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (Sénégal)
Courriel : fayedoudou85@yahoo.fr

Mamadou THIOR
Département de Géographie - Laboratoire de géographie physique
Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (Sénégal)
Courriel : thioryaz@yahoo.fr

AUTEUR CORRESPONDANT

Dome TINE
Courriel : dometine85@gmail.com



© Édition électronique

URL – Revue Espaces Africains : <https://espacesafricains.org/>

Courriel – Revue Espaces Africains : revue@espacesafricains.org

ISSN : 2957-9279

Courriel – Groupe de recherche PoSTer : poster_ujlog@espacesafricains.org

URL – Groupe PoSTer : <https://espacesafricains.org/poster/>

© Éditeur

- Groupe de recherche Populations, Sociétés et Territoires (PoSTer) de l'UJLoG

- Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) - Daloa (Côte d'Ivoire)

© Référence électronique

Dome TINE, Mbagnick FAYE, Mamadou THIOR, « *Contribution de l'imagerie satellitaire dans l'analyse de l'évolution de la mangrove dans un contexte de changement climatique : du Saloum (Sénégal) au Rio Gèba (Guinée-Bissau).* », Revue Espaces Africains (En ligne), 1 | 2023, ISSN : 2957- 9279, mis en ligne, le 30 juin 2023.
