

Dynamique spatio-temporelle de la mangrove de la commune de Coubalan de 1984 à 2024

Spatio-temporal dynamics of Coubalan mangrove from 1984 to 2024

Diop AB • Diop S • Ly A • Ka A • Cissé O • Faye PD • Yattara F • Kavainda OM • Kabeya CK • Samb CO

Received: 05 August 2025 / Accepted: 02 October 2025 / Published online: 02 January 2026
© PASRES Abidjan Côte d'Ivoire 2026

Résumé La commune de Coubalan possède d'importantes potentialités environnementales, notamment une mangrove, qui influencent son développement socio-économique. Toutefois, cette mangrove subit des pressions multiformes tant naturelles qu'anthropiques. L'objectif de cette recherche est d'étudier la dynamique de la mangrove de la commune de Coubalan. L'approche méthodologique a consisté à une analyse diachronique entre 1984 et 2024 avec l'utilisation des images Satellitaires Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ et LANDSAT 8 OLI-TIRS à l'aide du logiciel Envi 5.3. Il ressort des résultats que l'hydrographie et les mangroves ont été plus stables. La première période étudiée (1984-2003) montre une progression de la mangrove (6,05%) et des forêts et savanes (2,31%) au détriment des zones bâties, des sols nus, des champs et jachères (-2,86%) et des vasières (-7,56%). La conversion notable de la vasière en mangrove (5,90%) a été particulièrement marquante. Cependant, un phénomène inverse a été observé durant la seconde période (2003-2024), avec la conversion de 7,84 % de mangrove en vasière. Entre 1984 et 2024, des taux annuels de régression des mangroves (-0,45) et des forêts et savanes (-1,45) ont été observés. Cette évolution est attribuable aux taux annuels de déforestation de la mangrove et des forêts et savanes, avec des valeurs respectives de 0,41 et 1,10 % et un taux d'anthropisation de 1,94 %. Ces résultats constituent un outil précieux pour la prise de décision concernant l'aménagement de la mangrove de Coubalan.

Mots clés : Mangrove, Dynamique, Classes d'occupations du sol, Déforestation, Taux d'anthropisation.

Abstract The commune of Coubalan has significant environmental potential, in particular a mangrove, which influences its socio-economic development. However, this mangrove is subject to multiple natural and anthropogenic pressures. The objective of this research was to study the dynamics of the mangrove in the commune of Coubalan. The methodological approach consisted of a diachronic analysis between 1984 and 2024 using Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ and LANDSAT 8 OLI-TIRS satellite images on Envi 5.3 software. The results showed that hydrography and mangroves have been more stable. The first period studied (1984-2003) showed an increase in mangroves (6.05%) and forests and savannahs (2.31%) to the detriment of built-up areas, bare ground, fields and fallow land (-2.86%) and mudflats (-7.56%). The significant conversion of mudflat to mangrove (5.90%) was particularly striking. However, the opposite phenomenon was observed during the second period (2003-2024), with the conversion of 7.84% of mangrove to mudflat. Between 1984 and 2024, annual regression rates for mangroves (-0.45) and forests and savannahs (-1.45) were observed. This trend is attributable to the annual deforestation rates of mangroves and forests and savannahs, with values of 0.41% and 1.10% respectively, and an anthropisation rate of 1.94%. These results provide a valuable tool for decision-making on the management of the Coubalan mangrove.

Key words : Mangrove, Dynamics, Land use classes, deforestation, anthropogenic pressure.

Faye PD · Diop AB ·
Ka A · Cissé O

¹ Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrés des forêts et territoires Tropicaux (ERAIFT), Campus UNIKIN-Kinshasa-Commune de Lemba-RD Congo,

² Université Alioune Diop/Institut supérieur de Formation agricole et rurale, Bambey, Senegal

Diop S

Université Alioune Diop/Institut supérieur de Formation agricole et rurale, Bambey, Senegal .

Ly A

¹ Université Alioune Diop/Institut supérieur de Formation agricole et rurale, BP. 30 Bambey, Senegal

² Pan African University/ Institute of Water and Energy Sciences-PAUWES, Tlemcen University, Pôle Chetouane

Yattara F

Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrés des forêts et territoires Tropicaux (ERAIFT), Campus UNIKIN-Kinshasa-Commune de Lemba-RD Congo.

Kavainda OM

¹ Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrés des forêts et territoires Tropicaux (ERAIFT), Campus UNIKIN-Kinshasa-Commune de Lemba-RD Congo

² Université Catholique du Gabon-Butembo/ Faculté des sciences agronomiques,

Kabeya CK

¹ Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrés des forêts et territoires Tropicaux (ERAIFT), Campus UNIKIN-Kinshasa-Commune de Lemba-RD Congo

² Université de Lubumbashi, faculté des Sciences agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Écologique et Paysage. Lubumbashi (RD Congo).

Samb CO

Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Thiès, Sénégal

Faye PD · Diop AB

 ¹ Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrés des forêts et territoires Tropicaux (ERAIFT), Campus UNIKIN-Kinshasa-Commune de Lemba-RD Congo, ² Université Alioune Diop/Institut supérieur de Formation agricole et rurale, Bambey, Senegal

papadienef@gmail.com
aliounebadaradiop36@gmail.com

Introduction

La mangrove est définie comme un ensemble des formations végétales arborescentes ou buissonnantes qui colonisent les atterrissements intertidaux marins ou fluviaux des côtes tropicales (Marius, 1985). En Afrique, les mangroves couvrent plus de 3,2 millions d'hectares de superficie, ce qui représente environ 19 % du total mondial (Ajonina *et al.*, 2008). Au Sénégal, elle s'étend sur environ 200 000 ha soit environ 8 % des superficies forestières (ADG, 2011 ; Le Partenariat, 2019).

Cependant, depuis deux ou trois décennies, on assiste à un recul de la mangrove, qui s'opère à un rythme que l'on estime à 100 000 ha par an sur l'ensemble du monde (Eichelsheim, 2008). En effet, selon un rapport de la FAO (2007), une forte régression de la mangrove notée avec une superficie passant de 18,8 millions d'hectares en 1980 à 15,2 millions d'hectares en 2005. Au Sénégal, elles s'étendent sur environ 200 000 ha soit environ 8 % des superficies forestières du pays (ADG, 2011 ; Le Partenariat, 2019) et dont les densités les plus importantes sont localisées dans l'estuaire du sine Saloum, le long du fleuve Casamance et dans le bas delta du fleuve Sénégal (UICN, 2010). Au Sénégal, sur la même période, l'on constate une réduction de 14% de la superficie des mangroves, passant de 169 000 ha à 115 000 ha (FAO, 2007). Parmi les causes de la dégradation des mangroves, on identifie la baisse de la pluviométrie occasionnant une perturbation des caractéristiques physico-chimiques des eaux, la surexploitation des ressources avec la coupe de bois, particulièrement le bois de *Rhizophora* lors de la cueillette des huitres et l'ensablement des vasières (Diop *et al.*, 1997 ; Diaw, 1997 ; Diallo, 2019).

Matériel et Méthodes

Présentation de la zone d'étude

La commune de Coubalan est située entre 12°39'37" Nord et 16°10'13" Ouest. Elle se trouve au sud de l'arrondissement de Tenghory, Département de Bignona dans la région de Ziguinchor (Figure1).

La commune couvre une superficie de 21606 km² et comprend 13 villages dont Boulindien, Boureck, Boutolate, Coubalan, Coubanao, Dioubour, Djigounoun, Djilacoune, Finthiock, Hathioune, Mandouard, Niandane et Tapilane.

Le climat de la zone est de type soudanien côtier sud, marqué par une alternance d'une longue

Face au contexte actuel marqué par des fluctuations continues des paramètres climatiques conjuguées à une perte rapide des surfaces forestières, la protection et la préservation des écosystèmes forestiers en particulier la mangrove deviennent urgentes.

La commune de Coubalan située en basse Casamance dans le département de Bignona, cadre de notre étude, constitue une parfaite illustration de l'utilité de la mangrove. En effet, la commune abrite des formations végétales de mangrove à la base de multiples fonctions. Selon Diallo (2019), il s'agit de la fixation des côtes par le piégeage des sédiments, de la reproduction de la faune ichthyologique, de l'approvisionnement en produits variés (bois, huitres, poissons, arches). Ces fonctions autorisent une multitude d'activités et des stratégies d'exploitation, en rapport avec les besoins vitaux des populations dans un environnement naturellement instable. Ces besoins en ressources grandissants et les phénomènes naturels, menacent l'équilibre écologique de cette zone et le bien-être des populations. Ces besoins sont accentués par la poussée démographique que connaît la zone côtière depuis quelques années (Diallo, 2019). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui vise à étudier l'évolution des unités d'occupation des sols de la mangrove de la commune de Coubalan, soumise aux pressions multiformes, à travers l'imagerie satellitaire. La présente recherche pose l'hypothèse selon laquelle les classes naturelles notamment la mangrove diminue au profit des zones anthropisées entre 1984 et 2024.

saison sèche (novembre à mai) et d'une saison des pluies (juin à octobre). Les températures moyennes mensuelles se situent à environ de 27 °C avec une amplitude thermique de 22 °C (Diédhiou, 2015). Au cours des 30 dernières années (1991 à 2021), la pluviométrie présente une moyenne de 1411 mm d'eau par an (ANACIM, 2021). Le territoire est marqué par la présence de sols hydromorphes adaptés à la riziculture et les sols sulfatés acides situés dans la mangrove. Globalement, les sols sablo-argileux dominant (60%) et sont réservés, entre autres, à la culture de l'arachide, du mil, du maïs alors que les sols argileux représentent 40%. Le relief de la commune est plat et constitué de vastes

plaines et de grandes vallées propices à l'agriculture et à l'élevage. La végétation de Coubalan varie de la savane boisée aux forêts denses sèches en passant par des forêts galeries et des mangroves. La faune est constituée de l'ichtyofaune, des crustacés, de l'avifaune et des mammifères. La région de la Moyenne et Basse Casamance, polarisant ladite commune, dispose d'un important réseau hydrographique, constitué de plusieurs sous bassins versants du fleuve Casamance et de ses affluents

que sont le Soungrougrou, les marigots de Bignona, de Baïla, de Diouloulou et de Kamobeul (Faye, 2013 ; DAMCP, 2015).

Les populations dont le niveau de vie est bas, mènent comme principales activités socio-économiques la riziculture, la pêche fluviale et l'élevage. Néanmoins, d'autres activités telles que le commerce, l'exploitation forestière, le maraichage et l'arboriculture sont également réalisées dans la commune (Diallo, 2019).

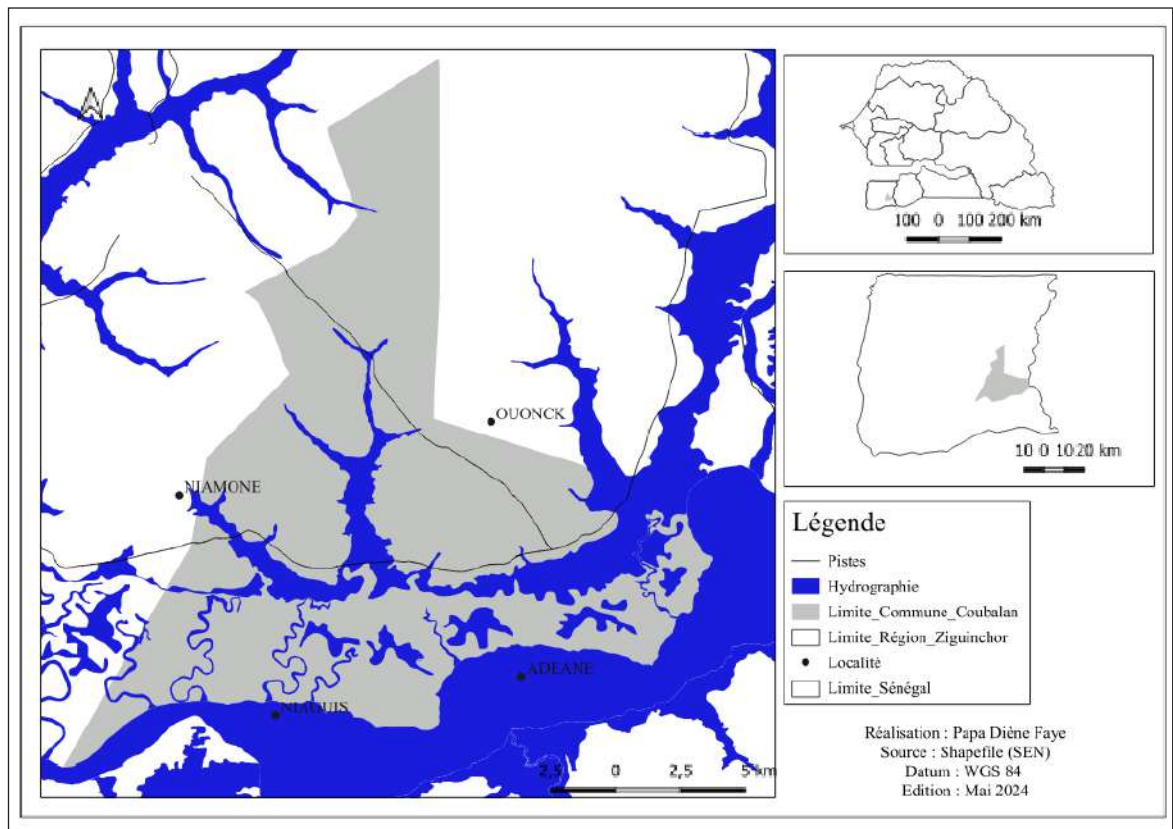


Figure 1 : Carte de localisation commune de Coubalan

Méthodes

Acquisition des images

L'analyse de la dynamique de la mangrove de la commune de Coubalan entre 1984, 2003 et 2024 a été réalisée en utilisant l'imagerie satellitaire, notamment à l'aide des images Landsat via le site Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). L'année 1984 marque le début de cette présente étude, étant donné que cette recherche se propose d'évaluer les conséquences de la sécheresse des années 1970 (Asseman *et al.*, 2013). La première diachronie constitue alors le lendemain de cette dite crise et la seconde est la période suivant cette dernière. Le choix des images Landsat repose sur 3 critères : longue période d'observation, grande fauchée (portion de

surface observée au sol par le capteur en un seul passage) des images couvrant 34 225 km² au sol (185 x 185 km) et une facilité d'acquisition des images (Boulogne, 2016 ; Oszwald *et al.*, 2010). Trois types d'images ont été sélectionnées à différentes dates pour décrire la dynamique des unités d'occupation des sols de la mangrove : une image le 03/05/1984 de Landsat 5 TM, une image le 30/04/2003 de Landsat 7 ETM+, et une image le 11/02/2024 de Landsat 8 OLI-TIRS. Ces images ont été choisies sur la base de leur disponibilité, de leur saisonnalité et de l'objectif de l'étude (Barima *et al.*, 2010 ; Mama *et al.*, 2013). En effet, les images prises pendant la saison des pluies (juin à octobre) présentent des nuages qui leur confèrent une mauvaise qualité ; ce qui motive la préférence des images de la saison sèche.

Classification des images

Après téléchargement, des corrections radiométriques avec deux capteurs ETM+ et TM, ont été effectuées. Les prétraitements des images ont été réalisés avec ENVI 5.3 et ArcGIS 10.2.2 à l'aide de Gap mask. Les images ont été ensuite géoréférencées en utilisant WGS-84 dans le référentiel UTM Zone 28N.

Une classification supervisée des images Landsat basée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance, a été exécutée après avoir défini les zones d'entraînements à l'aide d'un GPS Garmin 64s. Pour une représentativité effective des classes de l'occupation du sol, les zones d'entraînements ont été choisies, à raison d'au moins 35 polygones par occupation du sol (Diop *et al.*, 2024b). Six classes d'occupation du sol ont été retenues suite à la classification supervisée, à savoir (i) la mangrove, (ii) la vasière, (iii) les tannes, (iv) les forêts et savanes, (v) les zones bâtis, sols nus, champs et jachères et (vi) l'hydrographie. La combinaison des bâtis, sols nus, champs et jachères se justifie non seulement par souci de simplification des classes mais aussi sur le caractère anthropique de toutes ces classes d'occupation du sol fusionnées. En effet, cette étude se pose une hypothèse visant à vérifier le rapport entre les classes naturelle et anthropique.

La validation des classifications s'est appuyée sur la visite de 240 points GPS, indépendants de ceux utilisés pour la classification supervisée. Les points ont été répartis de façon régulière sur l'ensemble des classes d'occupation issues de la classification de l'image de 2022 pour la construction de la matrice de confusion. La fiabilité de la classification a été vérifiée par le calcul de la précision globale et l'indice de Kappa (κ).

Les changements d'utilisation des terres ont été examinés par la méthode de la matrice de transition décrite par Schlaepfer (2002), permettant de mettre en évidence les conversions entre différentes classes d'occupation des sols au fil du temps.

L'indice de stabilité d'une classe d'occupation du sol a été évalué par le rapport de la valeur de la diagonale et de la somme des valeurs hors diagonales de la matrice de transition (Bogaert *et al.*, 2014).

Analyse des changement opérés

Taux de déforestation annuel des classes naturelles

Le taux de déforestation annuel des classes naturelles est le taux de gain ou de perte enregistré par les classes naturelles (mangroves, forêts et savanes) mises ensemble par année.

Dans le cadre de cette étude, c'est la formule (1) standardisée proposée par Puyravaud (2003) qui a été utilisée pour calculer le taux de déforestation annuel entre 1984-2003 et 2003-2024 pour évaluer l'évolution de la mangrove.

$$\emptyset = -\frac{1}{t_2-t_1} \ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right) * 100 \quad (1)$$

Avec A1= superficie forestière de l'année initiale ; A2 = superficie forestière de l'année finale ; t1 = date d'acquisition exacte de l'image pour l'année initiale ; t2= date d'acquisition exacte de l'image pour l'année finale.

Taux annuel d'expansion spatiale

Le taux annuel d'expansion spatiale est le taux de gain ou de perte d'une classe d'occupation du sol par année.

Le taux d'expansion spatiale des différentes unités d'occupation du sol a été généré à travers le calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale en adoptant la formule (2) utilisée par Bernier (1992).

$$Tc = \frac{(\ln S_2 - \ln S_1)}{t \ln e} \quad (2)$$

Avec S1 = la surface d'une classe d'unité de surface à la date t1 ; S2 = la superficie de la même classe d'unité de surface à la date t2 ; ln = le logarithme népérien ; t = le nombre d'années d'évolution ; e = la base des logarithmes népériens (e = 2,71828).

Quand Tc > 0, progression ; Tc < 0, régression ; Tc = 0, stabilité (Kambale *et al.*, 2021).

Taux d'anthropisation

Ce taux est le rapport entre les classes anthropisées et les classes naturelles.

L'indice de perturbation écologique (U), tel qu'utilisé par O'Neill *et al.* (1988), a été utilisé pour mesurer le degré d'anthropisation du paysage. Il est calculé en comparant l'aire occupée par les classes anthropiques (bâtis, sols nus, champs, jachères, tannes et vasières) avec l'aire occupée par les classes naturelles ou très faiblement altérées (forêts, savanes et mangrove) dans le paysage étudié. Un paysage est considéré comme perturbé lorsque U > 1.

Résultats

Dynamique spatio-temporelle de la commune de Coubalan de 1984 à 2024

Matrice de confusion, coefficients de Kappa et précisions globales

L'analyse de la matrice de confusion montre que les pourcentages ont varié entre 94,5 et 100%. Toutefois, l'année 2003 a enregistré les plus grands pourcentages de confusion avec des proportions allant de 99,83 à 100%. Les classes « vasière » et « Bâtis, sols nus, champs et jachères » ont donné les plus grands pourcentages variant respectivement de 98,69 à 100% et 99,01 à 100% (Tableau 1).

L'année 2003 a montré les plus grands coefficients de Kappa et précision globale (respectivement 99,95 et 99,94%). Cependant, les plus petits pourcentages sont notés en 1984 avec respectivement 97,95 et 96,32% (Tableau 2).

Dynamique des unités d'occupation du sol

La Figure 2 met en évidence les tendances générales d'évolution des différentes classes de mangroves, de vasières, de tannes, de forêts et savanes, de bâtis, sols nus, champs et jachères et d'hydrographie entre les années 1984 et 2024. Des variations significatives de superficies sont particulièrement observées pour toutes les classes d'occupation des sols entre 1984 et 2024. La dynamique atteste la dominance des classes bâties, sols nus, champs et jachères. Les classes mangroves, tannes, forêts et savanes ont connu une dynamique régressive contrairement aux classes bâties, sols nus, champs et jachères, vasières et hydrographie. En 40 ans, la mangrove de Coubalan a perdu 3,25 % (Figure 2, Tableau 3).

En effet, dans la première diachronie (1984-2003), la mangrove a vu sa superficie augmentée de 6,05%, occupant respectivement 19,93% et 25,98%. Elle connaît ensuite une diminution de sa superficie de 9,3% passant de 25,98% à 16,68% durant la période 2003-2024. À l'image de la classe de la mangrove,

dans un premier temps, il est à noter une légère augmentation de la superficie de la classe « forêt et savane » de 10,14% en 1984 à 12,45% en 2003, soit une progression de 2,31%. Dans un second temps, la classe « forêt et savane » a été sujette à une forte diminution de sa superficie variant de 12,45% en 2003 à 5,68% en 2024 soit une perte de plus de la moitié de sa superficie. La classe « tannes » connaît une dynamique légère de progression entre 1984 et 2003 avec des proportions respectives de 5,24% et 6,07%, soit une augmentation de 0,83 %. Il s'ensuit une régression de cette classe d'occupation des sols durant la période 1984 à 2024 avec des proportions respectives de 6,07% et 3,91%, soit une diminution de 2,16%. La classe « vasières » connaît une progression de 2,2% entre 1984 et 2023 passant de 8,85% et 11,05%. L'hydrographie a augmenté entre 1984 et 2024 passant de 17,52% à 19,37%, soit une expansion des plants d'eau de 1,85%. Les surfaces de bâtis, sols nus, champs et jachères étaient estimées à 38,32% en 1984 et 43,31% en 2024 soit un gain de 4,99% (Tableau 3).

Tableau 1 : Matrice de confusion en %

Classes	1984	2003	2024
Mangrove	98,02	100	96,03
Tanne	97,7	100	94,5
Vasière	100	100	98,69
Hydrographie	95,9	99,83	93,99
FS	97,85	100	97,04
BSNCJ	99,01	100	99,09

*FS : Forêts et savanes ; BSNCJ : Bâtis, sols nus, champs et jachères

Tableau 2 : Coefficients de Kappa et Précisions globales entre 1984 et 2024

Années	Coefficient de Kappa	Précision globale
1984	97,95	96,32
2003	99,95	99,94
2024	98,87	98,29

Tableau 3 : Pourcentage de superficie des mangroves et de gain des différentes classes entre 1984 et 2024

	1984	2003	2024	Gain de superficie en % entre 1984-2003	Gain de superficie en % entre 2003-2024	Gain de superficie en % entre 1984-2024
Mangrove	19,93	25,98	16,68	6,05	-9,3	-3,25
Vasière	8,85	1,29	11,05	-7,56	9,76	2,2
Tanne	5,24	6,07	3,91	0,83	-2,16	-1,33
FS	10,14	12,45	5,68	2,31	-6,77	-4,46
BSNCJ	38,32	35,46	43,31	-2,86	7,85	4,99
Hydrographie	17,52	18,75	19,37	1,23	0,62	1,85

*FS : Forêts et savanes ; BSNCJ : Bâtis, sols nus, champs et jachères

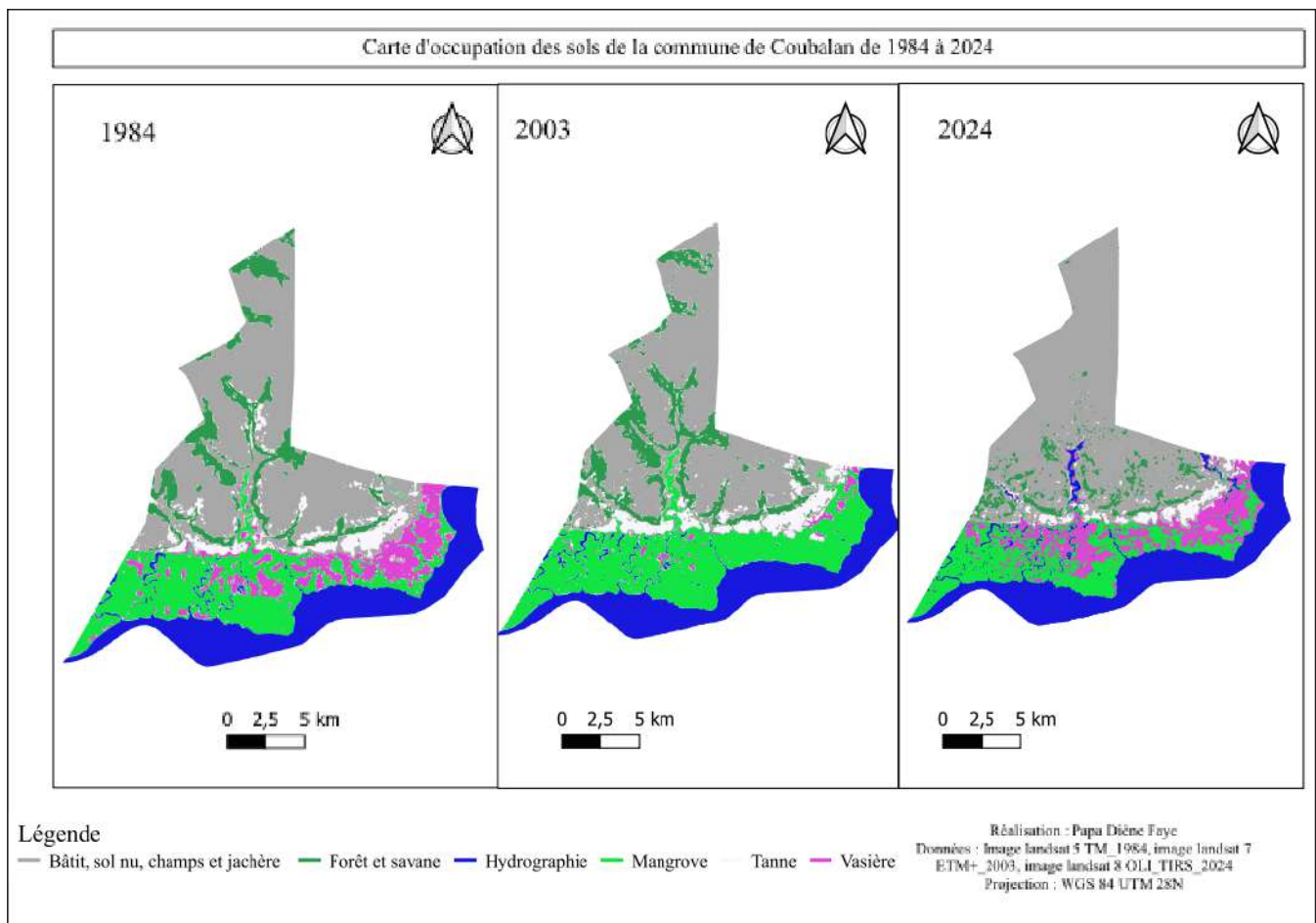


Figure 2 : Carte d'occupation du sol de 1984 à 2024

Reconversion des classes d'occupation du sol

Les conversions intervenues entre les classes d'occupation du sol dans le paysage de la commune de Coubalan de 1984 à 2024 sont décrites par les matrices de transition présentées dans les Tableaux 4 et 5.

Ainsi, les valeurs de la diagonale de chaque matrice représentent, pour chaque classe, les superficies qui n'ont pas subi de changements entre les deux années étudiées. A la lecture des tableaux, le rapport de la diagonale sur la somme des autres cellules révèle que le paysage de l'Aire Marine Protégée (AMP) de Somone perd sa stabilité au fil du temps. En effet, les valeurs de la stabilité du paysage montrent une diminution de ce rapport de 5,04 et de 3,29, respectivement pour les périodes de 1984-2003 et 2003-2024.

Concernant la première diachronie, des classes sont stables, car présentant des indices de stabilité supérieurs à 1 (Mangrove : 2,57 ; Forêts et savanes : 1,45 ; hydrographie : 16,58 ; bâties, sols nus, champs et jachères : 3,77) sauf les classes vasière et tanne présentant des indices respectifs de 0,41 et 0,83. Dans cette diachronie, il n'existe pratiquement pas de conversion des classes d'occupation des sols en mangrove excepté pour la classe « l'hydrographie » (1,01%) (Tableau 4).

Dans la deuxième diachronie, les classes tanne, vasière et forêts et savanes sont instables présentant des indices de stabilités faibles respectivement 0,57, 0,33 et 0,32, alors que les classes mangrove, bâties, sols nus, champs et jachères et l'hydrographie ont perdu en stabilité avec des valeurs respectives de 1,60, 2,76 et 8,18. Une importante superficie de vasière (7,84%) et celle de l'hydrographie (1,25%) se sont converties en mangrove (Tableau 5).

Tableau 4 : Matrice de transition des formations végétales et autres unités d'occupation 1984-2003 en pourcentage

1984	2003						
	Mangrove	Vasière	Tanne	FS	BSNCJ	Hydrographie	Totale
Mangrove	18,83	0,03	0,00	0,00	0,05	1,01	19,93
Vasière	5,90	2,83	0,11	0,00	0,01	0,00	8,85
Tanne	0,00	0,07	3,43	0,26	1,49	0,00	5,24
FS	0,00	0,00	0,11	6,84	3,19	0,00	10,14
BSNCJ	0,29	0,74	2,12	1,14	34,02	0,00	38,32
Hydrographie	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	17,48	17,53
Totale	25,07	3,67	5,77	8,24	38,76	18,49	100,00
Indice de stabilité	2,57	0,41	0,83	1,45	3,77	16,58	5,04

Tableau 5 : Matrice de transition des formations végétales et autres unités d'occupation 2003-2024 en pourcentage

2003	2024						
	Mangrove	Vasière	Tanne	FS	BSNCJ	Hydrographie	Totale
Mangrove	15,91	7,84	0,01	0,01	0,05	1,25	25,07
Vasière	0,11	2,91	0,39	0,01	0,23	0,04	3,67
Tanne	0,01	0,07	2,58	0,19	2,90	0,01	5,77
FS	0,00	0,01	0,09	2,74	5,40	0,01	8,24
BSNCJ	0,04	0,18	0,85	2,73	34,73	0,23	38,76
Hydrographie	0,61	0,04	0,00	0,00	0,00	17,84	18,49
Totale	16,68	11,05	3,91	5,68	43,30	19,37	100,00
Indice de stabilité	1,60	0,33	0,57	0,32	2,76	8,18	3,29

Taux annuel de déforestation

Le Tableau 6 présente le rythme de la déforestation au fil des années des classes naturelles (mangrove, forêts et savanes) dans la commune de Coubalan.

À la lecture du Tableau 6, la commune de Coubalan a connu des pertes de superficies forestières au cours des années. Sur la période étudiée de 1984 à 2024, le taux annuel de déforestation de la mangrove et de la forêt et savane est faible. Cependant, pour la première période (1984 à 2003), des valeurs des taux annuels de déforestation négatifs (-0,016% pour la mangrove et -0,012% pour la forêt et savane) indiquent une tendance à la reforestation du paysage au cours de cette période. En revanche, pour la deuxième période (2003-2024), l'effet inverse s'observe. Les taux annuels de déforestation sont positifs, avec des valeurs de 0,017% pour la mangrove et 0,026% pour la forêt et savane. Bien que ces valeurs soient inférieures à 5, on peut considérer qu'il s'agit d'une déforestation plus forte.

Taux d'anthropisation

Pour les années 1984 et 2024, le paysage présentait des taux élevés d'anthropisation, indiquant une forte perturbation ($U(1984) = 1,27 > 1$ et $U(2024) = 1,94 > 1$). En 2003, la valeur d'indice de perturbation est évaluée ($U=0,92$) pour ce même paysage. Cette valeur, étant inférieure à 1, ce qui montre que le paysage est moins perturbé (Tableau 7).

Taux Moyen Annuel d'Expansion Spatiale (TMAES)

Les résultats relatifs au Taux Moyen Annuel d'Expansion Spatiale (TMAES) de chaque classe d'occupation du sol présentés au Tableau 8 montrent que le couvert forestier et les tannes ont diminué sensiblement pendant les quarante dernières années avec des valeurs TMAES négatives, alors que le paysage agricole (champs et jachères), les sols nus, bâtis, vasière et l'hydrographie présentent des valeurs TMAES montrant l'avancée du front agricole, hydrique et de vasières.

Tableau 6 : Taux annuel de déforestation des classes naturels entre 1984 et 2024

Classe/ Période	1984-2003	2003-2024	1984-2024
Mangrove	-1,6	1,7	0,41
Forêts et savanes	-1,2	2,6	1,10

Tableau 7 : Taux d'anthropisation des classes naturels entre 1984 et 2024

Années	1984	2003	2024
Taux d'anthropisation	1,27	0,92	1,94

Tableau 8 : Taux moyen annuel d'expansion de chaque classe d'occupation du sol entre 1984 et 2024

Classe d'occupation du sol	1984-2003	2003-2024	1984-2024
Mangrove	1,40	-2,11	-0,45
Vasière	-10,13	10,22	0,56
Tanne	0,77	-2,09	-0,73
Forêt et savane	1,08	-3,74	-1,45
Bâtit, sol nu, champ et jachère	-0,41	0,95	0,31
Hydrographie	0,35	0,16	0,25

Discussion

La présente étude a montré de grandes valeurs concernant les coefficients de Kappa, des précisions globales et les pourcentages de confusion pour toutes classes d'occupation du sol et années confondues. Ces résultats ont permis de valider la classification supervisée après dans cette recherche. Cette validation se base sur les résultats de Pontius (2000) selon qui, une classification est recevable lorsque l'indice de Kappa évalué est supérieur à 61 %.

Les mangroves au Sénégal font l'objet d'une évaluation perpétuelle par la communauté scientifique afin d'évaluer leur perturbation. C'est ainsi que, la commune de Coubalan a fait l'objet de ce travail. L'analyse de l'écosystème de cette commune, dans sa globalité, a été faite sur deux diachronies 1984-2003 et 2003-2024. Ainsi pendant la première diachronie, une augmentation des classes naturelles (mangrove, forêts et savanes, tanne et l'hydrographie) a été observée au détriment de la classe anthropique, bâtis, sols nus, champs et jachères. Cette progression de la végétation naturelle peut être due à la recrudescence de la pluviométrie au lendemain de la sécheresse des années 1970 et des activités de reboisements initiées par la population (Sène et Ozer, 2002 ; Faye, 2015 ; Sarr et Louna, 2009 ; Diouf *et al.*, 2022). Aussi, cet épisode de rupture pluviométrique a été largement renseigné dans la littérature par Marius (1984), Dieye *et al.* (2015), Soumare *et al.* (2020). Ces derniers auteurs ont montré l'impact négatif de la sécheresse sur la végétation. Les résultats de la présente étude sont proches de ceux de Diouf *et al.* (2022) et Dièye *et al.* (2022) qui ont montré respectivement à Coubalan et Oussouye, la régression de la mangrove durant la sécheresse, suivie d'une progression les années suivantes. Parallèlement, une diminution des bâtis, sols nus, champs et jachères a été enregistrée durant la première diachronie (1984-2003). En effet, la casamance est une zone sénégalaise marquée par des conflits rebelles qui, depuis ses débuts en 1984 (Foucher, 2003), ont contraint la population à

s'exiler vers l'intérieur du pays, surtout à Dakar. Le déplacement de la population hors de la zone d'étude a favorisé l'émergence de la végétation au détriment des espaces d'implantations humaines qui ont régressé. La seconde diachronie (2003-2024) est marquée par une tendance inversée avec une forte diminution de la surface des classes « mangrove », des forêts et savanes et des tannes au profit des bâtis, sols nus, champs et jachères, l'hydrographie et des vasières. Cette évolution s'expliquerait par le déficit pluviométrique conjugué aux coupes abusives. En effet, Bassène (2016) a affirmé une tendance régressive des pluies pendant la deuxième diachronie. Cependant, à partir de 2020, la pluviométrie a connu, une recrudescence. En outre, le retour des réfugiés casamançais dans leur terre d'origine a favorisé la multiplication des bâtis et les champs de culture. Robin et Ndione (2006) ont signalé ces retours qui se sont effectués massivement en 2001.

Les classes d'occupation des sols les plus stables ont été l'hydrographie, forêts et savanes, suivies de mangrove. Cette stabilité de la mangrove est due aux actions de reboisements initiés par les populations, qui constituent des facteurs compensateurs des coupes abusives et du déficit pluviométrique. Ces résultats corroborent ceux de Diop *et al.* (2024b) qui ont montré au Saloum, une grande stabilité de l'hydrographie suivie de la mangrove.

La plus grande conversion notée lors de la première diachronie est celle des mangroves en vasière. En effet, les mangroves s'installent sur les vasières qui constituent alors la zone de reboisement des palétuviers (Guiral *et al.*, 1999). Ainsi, la progression des mangroves a entraîné la diminution des vasières. Par ailleurs, Diouf *et al.* (2022) ont signalé cette augmentation des mangroves au détriment des vasières dans la commune de Coubalan. Cette tendance est inversée dans la deuxième diachronie avec la conversion des mangroves en vasière. Ce phénomène est dû à l'augmentation de la salinité

causée par les déficits pluviométrique et en apport d'eau douce par le débit de l'estuaire et les coupes de bois (Bassène, 2016 ; Solly *et al.*, 2018 ; Sow et Ba, 2019 ; Dieng *et al.*, 2022 ; Faye, 2024).

Globalement, entre 1984 et 2024, seuls les bâtis, l'hydrographie et les vasières ont connu une progression au détriment des autres classes d'occupation du sol (les mangroves, les tannes et les forêts et savanes). Cette progression des zones anthropisées au détriment des aires naturelles est confirmée par le taux d'anthropisation qui est

positif. Malgré les efforts fournis par les populations dans la restauration de la mangrove et des zones naturelles, les coupes abusives conjuguées à un déficit pluviométrique constituent des contraintes majeures à la préservation de la mangrove. Cela se confirme par la forte augmentation du taux de déforestation entre les deux diachronies, occasionnant une perte non négligeable des mangroves et des forêts. Par ailleurs, selon les populations de Coubalan, la dégradation est causée par le déficit pluviométrique et la déforestation (Diouf *et al.*, 2022).

Conclusion

La présente étude « Dynamique spatio-temporelle de la commune de Coubalan de 1984 à 2024 » a examiné l'évolution de la mangrove de la commune de Coubalan. Une analyse diachronique a révélé une augmentation de la mangrove de 6,05% entre 1984 et 2004. Elle connaît ensuite une diminution de sa superficie de 9,3% durant la période 2003-2024. Cette présente étude a montré globalement une diminution des classes naturelles notamment la mangrove au profit des zones anthropisées durant la période de l'étude. D'où l'hypothèse de cette recherche est vérifiée. D'après plusieurs chercheurs les activités humaines telles que l'exploitation du bois de mangrove,

les aménagements hydroagricoles et routiers, l'expansion anarchique des bâtis ont un impact négatif sur la survie des palétuviers. Ces résultats constituent une sonnette d'alarme, de la part des gestionnaires, sur la nécessité de renforcer des mesures de gestion. Il serait nécessaire de rationaliser les activités humaines, par le recours aux pratiques traditionnelles et culturelles dans la zone pour mieux sensibiliser la population sur l'importance de la préservation de la biodiversité. En perspectives, il serait intéressant d'entreprendre des études sur les modes de gestion et de gouvernance de la biodiversité dans cette zone de Coubalan afin d'évaluer son efficacité.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Etat du Sénégal pour le financement de ce travail et les autorisations administratives.

Références Bibliographiques

- ADG (Aide au Développement Gembloux). 2011.** Manuel de Capitalisation de l'expérience, Guide pratique à l'usage des Communautés Rurales du Delta du Saloum, Sénégal : la mangrove, un écosystème à protéger, 92 p.
- Ajonina G, Diamé T, Kairo J. 2008.** Etat actuel et conservation des mangroves de l'Afrique vue d'ensemble, IMO Bunkers Convention, 6 p.
- ANACIM. 2021.** Bulletin Agrométéorologique, (Consulté en janvier 2023)
- Assemian EA, Kouame FK, Djagoua EV, Affian K, Jourda JPR, Adja M, Lasm T. Biemi J. 2013.** Étude de l'impact des variabilités climatiques sur les ressources hydriques d'un milieu tropical humide : Cas du département de Bongouanou (Est de la Côte d'Ivoire) ». *Revue des Sciences de l'eau*, 26(3) :247-261. <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2013-v26-n3-rseau0846/1018789ar/resume/>
- Barima YSS, Egnankou WM, N'doumé ATC, Kouamé FN, Bogaert J. 2010.** Modélisation de la dynamique du paysage forestier dans la région de transition forêt-savane à l'est de la Côte d'Ivoire. *Téledétection : Revue de Recherche et d'Application en Téledétection*, 9(2) : 129-138.

- Bassene OA. 2016.** L'évolution des mangroves de la Basse Casamance au Sud du Sénégal au cours des 60 dernières années: surexploitation des ressources, pression urbaine, et tentatives de mise en place d'une gestion durable, Doctoral dissertation, Université de Lyon; Université de Saint-Louis (Sénégal), <https://theses.hal.science/tel-01559306v1/document>
- Bernier B. 1992.** Introduction à la macroéconomie. Dunod, Paris, 217 p
- Bogaert J, Vranken I, André M. 2014.** Effets anthropiques sur les paysages : contexte historique et configuration spatiale. Dans : Hong, SK., Bogaert, J., Min, Q. (éd.) Paysages bioculturels. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8941-7_8
- Boulogne M. 2016.** Vulnérabilité des paysages forestiers dans le parc de Ranomafana (Madagascar) : dynamiques environnementales et trajectoires agroforestières. Thèse de l'Université Grenoble Alpes, 269 p.
- DAMPC. 2015.** Plan d'aménagement et de gestion de l'AMP du Niamone-Kalounaye, Ministère de l'environnement et du développement durable, p. 93, <https://damcp.gouv.sn/type-de-document/plan-dam%C3%A9nagement-et-de-gestion>
- Diallo LT. 2019.** Analyse de la flore et de la végétation des plantations de mangrove de la commune de Coubalan (Casamance, Sénégal). Mémoire de master à l'université Assane Seck de Ziguinchor/Sénégal, 30p.
- Diaw AT. 1997.** Évolution des milieux littoraux. Géomorphologie et télédétection, Notes bibliographiques, Thèse de doctorat d'État ès lettres, Université de Paris I, Panthéon-Sorbonne, 267 p
- Dieng D, Sow M, Sow E.H, Taïbou B.A. 2022.** Dynamique Spatio-temporelle de la Mangrove du bas Delta du Fleuve Sénégal de 1980 à 2021: Approche par Télédétection et Système d'Information Géographique. *European Scientific Journal*, 11 : 117.
- Diéye EHB, Sané T, Ndour N. 2015.** Dynamique de la mangrove et impacts dans le Département d'Oussouye (Basse Casamance) entre 1972 et 2014. Rapport définitif projet BMUASZ, 41p.
- Diop AB, Samb CO, Barry M, Ndour AA, Cissé O, Mukenza MM, Sambieni K.R, Mweru JPM, Diansambu MI, Bogaert J. 2024b.** Dynamique spatio-temporelle de la mangrove du Parc National du Delta du Saloum (PNDS), Sénégal. *Revue Écosystèmes et Paysages*, 4(1) : 1-17. DOI : <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4102>
- Diop E, Soumare A, Diallo N, Guisse A. 1997.** Recent changes of the mangroves of the Saloum River Estuary, Senegal. *Mangroves and Salt Marshes* 1, 163–172 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1009900724172>
- Diouf I, Adeola AM, Abiodun GJ, Lenard C, Shirinde JM, Yaka P, Ndione J-A, Gbobaniyi EO. 2022.** Impact of future climate change on malaria in West Africa *Theoretical Applied Climatology*, 147 : 853-865.
- Eichelsheim, JL. (2008).** La mangrove en Casamance (No 1; Les zones humides, p. 21). IDEE Casamance. <https://www.ideecasamance.net/index.php?page=reports>
- FAO. 2007.** The world's mangroves 1980-2005, Rome, 89p.
- Faye C. 2015.** Le changement climatique dans le bassin-versant de la Casamance : évolution et tendances du climat, impacts sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation, Eaux et sociétés face au changement climatique dans le bassin de la Casamance, Atelier scientifique et lancement de l'initiative Casamance : un réseau scientifique au service du développement en Casamance, Ziguinchor, Sénégal.
- Faye MM. 2013.** Cadre de gestion environnemental et social (CGES), Ziguinchor: Agence Régionale de Développement de la Région de Ziguinchor, 116 p. https://rivieresdusud.uas.sn/bitstream/handle/123456789/1380/PPDC-ZIG_0092.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Faye PD. 2024.** Variabilité climatique, activités anthropiques, dynamique et perspectives d'aménagement de la mangrove de l'Aire Marine Protégée de Somone, Sénégal. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Recherche en aménagement et Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux à l'École Régionale Post-universitaire d'Aménagement et Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT), 58p
- Foucher V. 2003.** Pas d'alternance en Casamance? Le nouveau pouvoir sénégalais face à la revendication séparatiste casamançaise 1. *Politique africaine*, (3) : 101-119. <https://www.cairn.info/revue-politique-africaine-2003-3-page-101.htm>
- Guiral D, Albaret JJ, Barane E, Bertrand F, Debeney JP, Diouf PS, Guillou JJ, Le Loef P, Montoroi JP, Sow M. 1999.** Les écosystèmes à mangrove. In: Rivières Du Sud: Sociétés et Mangroves Ouest-Africaines, pp 63-130.

- Guiral D, Albaret JJ, Baran E, Bertrand F, Debeney JP, Diouf PS, Guillou JJ, Le Loeuff P, Montoroi JP, Sow M. 1999.** Les écosystèmes à mangrove, dans Rivières du sud : sociétés et mangroves ouest-africaines, éd, par M,-C, Cormier-Salem, Paris, IRD, pp 63-130. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.4985>.
- Kambale NN, Dramani R, Mulondi K.G, Muhindo SW, Biaou SSH, Natta KA. 2021.** Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol et du couvert forestier dans les Hautes Terres Fraîches de Lubero (R.D. Congo), *Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie tropicales*, 45 (4) : 641-658.
- Le Partenariat. (2019).** Projet valorisation et mise en valeur de la mangrove : delta du fleuve Sénégal, approche territoriale pour la gestion des espaces de mangroves.
- Mama A, Sinsin B, Cannière C De, Bogaert, J. 2013.** Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31(1) : 78-88.
- Marius C. 1984.** Contribution à l'Etude des Mangroves du Sénégal et de la Gambie Ecologie-Pédologie Géochimie. Mise en Valeur et Aménagement. ORSTOM, Paris, 309 p.
- Marius C. 1985.** Mangrove du Sénégal et de la Gambie : écologie, pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement, ORSTOM édition, Paris-Bondy, 309 p. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AV2012068516>
- O'Neill RV, Krummel JR, Gardner RH, Sugihara G, Jackson B, DeAngelis DL, Milne BT, Turner MG, Zygmunt B, Christensen SW, Dale V, Graham RL. 1988.** Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3 : 153-162.
- Oszwald J, Lefebvre A, Arnaud De Sartre X, Thalès M, Gond V. 2010.** Analyse des directions de changements des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier de Maçaranduba (Para, Brésil) entre 1997 et 2006. *Teledetection*, 9 (2): 97-111.
- Pontius RG. 2000.** Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 66(8): 1011-1016. http://www.econgeography.org/~rpontius/pontius_2000_pers.pdf
- Puyravaud J-P. 2003.** Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177 (1-3), 593-596. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- Robin N, Ndione B. 2006.** L'accès au foncier en Casamance, l'enjeu d'une paix durable, Dakar, IRD, 15 p.
- Sarr B, Lona I. 2009.** Les fortes pluies et les inondations enregistrées au Sahel au cours de l'hivernage 2007 : variabilité et/ou changement climatique, 14ème Colloque International SIFEE Changement climatique et évaluation Environnementale, Niamey, 29p.
- Schlaepfer R. 2002.** Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse, 10 p.
- Séne S, Ozer P. 2002.** Évolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 42 : 27-33. <https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=2230&file=1>
- Solly B, Diéye EHB, Sané T, Diaw AT. 2018.** Dynamique de la mangrove de Thiobon dans l'estuaire de la Casamance (Sénégal) entre 1972 et 2017. *European Scientific Journal* 14, 33 : 118-133. <http://dx.doi.org/10.19044/esj,2018,v14n33p118>
- Soumare S, Antipolis NS, et Andrieu J. 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 Dynamique spatio-temporelle de la mangrove de Kafountine dans l'estuaire de la Basse -Casamance. *IOSR Journal of Engineering*, 10(9) : 1-14.
- Sow E, Ba T. 2019.** Evolution de la Mangrove de la Reserve de Biosphère du Delta du Saloum, Sénégal, 20p.
- UICN. 2010.** IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.1. <<http://www.iucnredlist.org>>. Acceso Mayo-Junio 2010.