



Research Paper

Dynamique de la fragmentation et recomposition spatiale du paysage ans la zone Ramsar de Fresco (Côte d'Ivoire): apport de la télédétection et des métriques paysagères

Landscape fragmentation dynamics and spatial recompositing in the Fresco Ramsar site (Côte d'Ivoire): Insights from remote sensing and Landscape metrics

AKADJE-KONAN Léocadie Marie-Claude¹, KOUMAN Elie², DANGUI Nadi Paul³, ZOBO Cédric⁴

^{1,2,3,4} (Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire)

ABSTRACT: Ivorian coastal wetlands are undergoing transformations resulting from the interaction between natural dynamics and human activities. In this context, analysing landscape structure is a useful way to assess changes in the spatial structure of spatial structure of natural habitats and anthropized area. This study analyses land-use dynamics and spatial reconfiguration of landscape in Fresco, between 2017 to 2024. To this end Sentinel-2 imagery was used to produce land use and land cover maps, generate a transition matrix, and calculate metrics using FRAGSTATS. The results reveal important landscape reconfiguration. The area of forest has decline, whereas the cropland and fallow land increase by 48,5%. The main land cover transition involved the conversion of forest into a mosaic of crop land and fallow land, affecting 2 024,93ha. Also, the Analysis of landscape metrics point to a serious loss of the forest's spatial dominance, with a decrease in the Largest Patch Index from 32,88 % to 13,53%; however, the mosaic of cropland and fallow land is becoming more spatially consolidation. As for mangroves and wetlands., they exhibit significant spatial reorganization despite a marked reduction in the area. These results suggest a reorganisation of the landscape and demonstrate the value of combining transition matrix with landscape metrics to better understand changes in area, fragmentation and the spatial reorganization of habitats.

KEYWORDS: Land use, Landscape metrics, FRAGSTATS, Remote sensing, Wetland, Ramsar, Fresco

RESUME: Les zones humides littorales ivoiriennes sont soumises à des transformations résultant de l'interaction entre les dynamiques naturelles et les activités humaines. Dans ce contexte, l'analyse de la structure du paysage constitue un moyen pertinent pour apprécier les mutations de la structure spatiale des habitats naturels et des espace anthropisés. Cette étude analyse la dynamique de l'occupation du sol et la recomposition spatiale du paysage dans la zone Ramsar de Fresco, entre 2017 et 2024. Pour se faire, elle se base sur l'exploitation d'images Sentinel-2, pour la production de cartes d'occupation du sol, la création de matrice de transition et le calcul de métriques paysagères à l'aide du logiciel FRAGSTAT. Les résultats montrent une recomposition importante du paysage. La forêt dense connaît une régression de sa superficie, tandis que la mosaïque cultures/jachères s'est accrue de 48,5%. La principale mutation correspond à la transformation de superficie de forêt dense en mosaïque cultures/Jachères avec 2 024,93 ha concernés. Aussi, l'analyse de métriques paysagères met en évidence une forte perte de la dominance spatiale de la forêt, avec une diminution du Largest Patch Index de 32,88% à 13,53% ; tandis que la mosaïque cultures/Jachères se consolide dans l'espace. Quant aux mangroves et marécages, elles présentent une forte recomposition spatiale

malgré une nette réduction de leur superficie. Ces résultats laissent entrevoir une recomposition du paysage et montrent l'intérêt de combiner les matrices de transition avec les métriques paysagères afin de mieux appréhender les évolutions des superficies, la fragmentation et la recomposition spatiale des milieux.

KEYWORDS: *Occupation du sol, Métrique paysagère, FRAGSTATS, Télédétection, zone humide, Ramsar, Fresco*

Received 25 Sep., 2026; Revised 03 Oct., 2026; Accepted 05 Oct., 2026 © The author(s) 2026.

Published with open access at www.questjournals.org

I. INTRODUCTION

Espaces de transition entre terre et mer, les zones humides littorales sont des espaces de grande importance écologique pour leur rôle dans le maintien de la biodiversité, des équilibres hydrologiques. Elles jouent un rôle de soutien à la vie des populations en fournissant des ressources pour leur activités ou leur besoins alimentaires, énergétique ou pour leurs activités économiques [1].

Toutefois d'énormes pressions anthropiques résultant de l'extension des activités agricoles, de l'urbanisation, de l'exploitation des ressources naturelles et des modifications des régimes hydrologiques s'exercent sur la zone humide. Elles entraînent des modifications dans le paysage allant jusqu'à la fragmentation des espaces naturels, un processus majeur dans la transformation des milieux naturels [2]. La fragmentation est une modification de l'ossature spatiale d'une unité du paysage ou d'un habitat. Il peut s'exprimer sous forme de régression ou d'augmentation de la taille de patches ou de leur nombre ou de la variation de leur connectivité ou de leur aggrégation. Mais, aucune métrique ne peut s'analyser de façon isolée.

Aussi, l'analyse doit prendre en compte la composition et la configuration spatiale du paysage. Cette précaution est importante car plusieurs métriques peuvent être fortement corrélées et leur signification dépend de la quantité d'habitat présente dans le paysage. Les métriques paysagères constituent aujourd'hui un ensemble d'outils largement mobilisés pour quantifier les changements de structure spatiale à partir de cartes catégorielles d'occupation du sol [3]. FRAGSTATS permet notamment de calculer des métriques au niveau de la classe, du patch et du paysage et constitue l'un des outils de référence pour l'analyse quantitative des structures paysagères. Dans les paysages tropicaux humides, l'intérêt de cette approche est particulièrement important [4]. Une diminution de la superficie d'un habitat ne signifie pas nécessairement qu'il se fragmente selon un processus classique. Inversement, une superficie relativement stable peut masquer un renouvellement spatial important des patches. Il est donc primordial de combiner la matrice de transition et des métriques paysagères afin de faire une meilleure analyse de la transformation du paysage et mettre en exergue les différents processus de gain, de perte ou de conversion de superficie.

En côte d'Ivoire, les zones humides sont tout aussi importantes, pour le bien-être des populations. De ce fait, plusieurs zones humides sur le littoral sont inscrites sur la liste des sites Ramsar afin de les conserver. C'est le cas du site Ramsar de Fresco [5]. Il abrite notamment des habitats importants pour différentes espèces animales et végétales et fournit de nombreuses ressources aux populations riveraines. Le site est néanmoins soumis à différentes pressions liées notamment aux activités agricoles, à l'exploitation des ressources naturelles et aux transformations des habitats. Malgré l'intérêt écologique de cet espace, l'évolution de sa structure paysagère reste moins documentée que la seule dynamique des superficies des différentes classes d'occupation du sol. Or, une connaissance des changements de composition ne permet pas à elle seule d'apprécier l'évolution de la configuration spatiale des habitats.

La présente étude part donc de la question : Comment les transformations de l'occupation du sol entre 2017 et 2024 ont-elles modifiées la structure spatiale et les processus de fragmentation des paysages de la zone humide Ramsar de Fresco ?

Ce travail a pour but d'analyser la structure paysagère de la zone humide de Fresco en cartographiant l'occupation du sol en 2017 et 2024, en identifiant et quantifiant les changements de superficie des différentes unités paysagères et pour terminer en caractérisant l'évolution de la fragmentation, de l'aggrégation et de la dominance spatiale des différentes classes ;

L'hypothèse principale est que les changements d'occupation du sol observés entre 2017 et 2024 entraînent une recomposition différenciée de la structure du paysage, avec une perte de dominance des formations forestières, une progression des espaces agricoles et une modification de la configuration spatiale des habitats humides.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

La zone humide Ramsar de Fresco est située au sud-ouest, sur le littoral ivoirien, dans l'actuelle région du Sud-Bandama. Le site Ramsar a été inscrit le 18 octobre 2005 sur la liste des site Ramsar. C'est un espace côtier avec une superficie de 15 507 ha, qui associe plusieurs types de paysages avec des lagunes, des secteurs littoraux, des zone humides et des formations forestières. Il constitue un espace côtier associant plusieurs configurations de paysages, notamment des secteurs littoraux, des lagunes, des formations forestières. Ce site continent une partie de la forêt classée de Port-Gauthier située à l'extrême Est du site qui appartient au domaine public de l'Etat ivoirien. Présentée à la figure 1, c'est une zone rurale côtière avec deux types de côtes : une côte rocheuse à l'Ouest constitué de falaise qui alternent avec les plages et des plages ainsi qu'une côte sableuse à l'Est avec des plages de sables et des dunes séparant la lagune de l'océan Atlantique.

Au niveau hydrographique, le site Ramsar possède une lagune appelée localement Gboklê et alimentée par les rivières Bolo et Niounourou. Elle se jette dans la mer.

Divers milieux naturels constituent la zone humide de Fresco [5]. En effet, cette zone est constituée de forêt sur terre ferme, de forêt humide et de mangrove. Ces végétations sont soit un abri pour certaines espèces menacées d'extinction tel que le lamentein, le crocodile forestier, l'hippopotame pygmée... Mais, c'est aussi un lieu de nidification pour de nombreuses espèces de tortues. Plusieurs oiseaux migratoires y séjournent, soit pour la nidification, pour s'alimenter ou se reposer. Plus de 1500 habitants viennent autour de cet appareil. Les populations très rurales utilisent les services de la zone humide utilise les produits de la zone humides pour leurs activités économiques, mais aussi se nourrir ou se soigner.

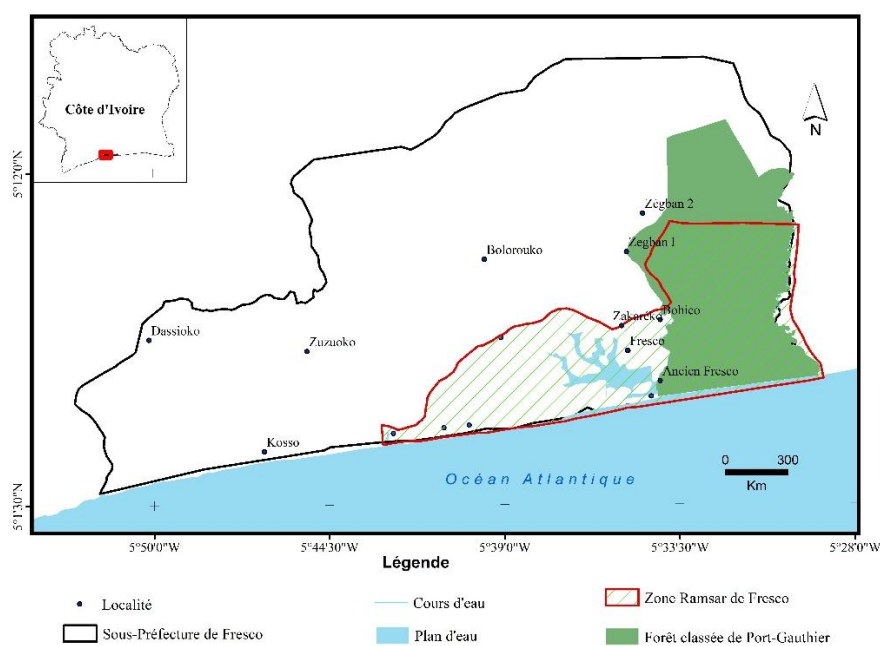


Figure 1: Localisation de la zone humide de Fresco en Côte d'Ivoire

Cette coexistence entre conservation des écosystèmes et usages socio-économiques confère au site un intérêt particulier pour l'étude des transformations paysagères.

2.2 Données de l'étude

L'étude repose principalement sur l'utilisation de deux images satellitaires que sont Sentinel-2B_MSIL2A et Sentinel-2A_MSIL1C datant de 2017 et 2024, téléchargées sur le site de COPERNICUS avec une résolution spatiale de 10m et toutes deux prises au mois de décembre (saison sèche). Elles ont permis de cartographier l'occupation du sol aux différentes dates.

- Les limites de la zone Ramsar téléchargées sur le site de la convention Ramsar SGIE. Elles datent de 12/10/2021 et ont été utilisées pour circonscrire les données à la zone d'étude
- Les limites de la forêt classée de Port Gauthier, obtenues auprès de l'unité de gestion forestière sur le terrain,

- Les fichiers des localités, du réseau hydrographique et du réseau routier, téléchargés sur le site de Open Street Map (2020) pour préparer la mission de terrain .
- 156 points de contrôle au sol ont été collectés sur le terrain. Ils ont servi pour une partie de parcelle d'entraînement lors de la classification des images satellitaires et pour l'autre partie d'échantillons de validation des classification obtenues.

2.3 Prétraitement et classification des images

Les images Sentinel-2 utilisées ont été prétraitées afin de produire des données comparables. Les traitements comprennent notamment le rehaussement des images pour améliorer la perception des objets sur les images, puis le découpage selon l'emprise de la zone humide et la préparation des bandes spectrales utilisées pour la classification.

Plusieurs indices spectraux ont été calculés afin de mettre en exergue les informations utiles à une meilleure analyse des images. Ainsi, l'indice de végétation Normalisé (NDVI) l'indice Normalisé modifié de l'eau (MNDWI) et l'indice de brillance (IB) ont permis de mettre en exergue respectivement la densité de la végétation, les plans d'eau de surface en réduisant la confusion avec les autres unités d'occupation du sol et pour finir les sols nus et le bâti.

Ces néo-canaux ont été combiné afin de créer des images améliorées permettant de mieux discriminer les surfaces complexes et d'optimiser la classification des images.

Les points de contrôle au sol, collectés durant la campagne de terrain ainsi que certains collectés sur l'image de Google Earth ont servi de parcelles d'entraînement pour la classification de l'occupation du sol avec l'algorithme Support Vector Machine (SVM), très puissant pour la délimitation des objets.

Une validation des classifications est faite sur la base de l'analyse de la matrice de confusion obtenue en croisant les données de terrain retenues comme parcelles de validation avec les données classées et du calcul des indices de précision.

2.4 Analyse des changements observés

Les classifications obtenues sont converties en Fichier vecteur et intégrées dans le SIG. En effet, les deux cartes ont été harmonisées afin de permettre leur comparaison temporelle et leur utilisation dans FRAGSTATS. La classification distingue six classes (tableau 1).

Tableau 1: Classes d'occupation du sol retenues pour l'analyse

CODE	Classe d'occupation du sol
1	Forêt dense sur terre ferme/humide
2	Forêt secondaire ou dégradée
3	Mosaïque cultures/jachères
4	Mangroves/Marécages
5	Plan d'eau
6	Habitats/sol nu

D'abord, pour chacune des cartes les statistiques sont calculés afin d'analyser les états de l'occupation du sol au différentes dates et l'évolution des diverses unités de l'occupation du sol.

Les taux de d'évolution de la (TE) sont calculés selon la formule suivante :

$$TE(\%) = \frac{(Sf - Si)}{Si} \times 100$$

Avec Si représentant la superficie initiale (à la date ti), Sf représentant la superficie finale (à la date tf)

Puis, les cartes sont compilées, à l'aide de l'outil de géotraitement « Union » du SIG afin de faire l'état des différents changements observées sur la période d'étude. Une matrice de transition a ensuite été construite afin d'identifier les principales mutations observées entre 2017 et 2024. Les lignes correspondent aux classes de 2017 et les colonnes aux classes de 2024. La diagonale représente les superficies ayant conservé la même classe d'occupation du sol entre les deux dates.

2.5 Analyse de la fragmentation avec FRAGSTATS

L'analyse de la structure paysagère a été réalisée avec FRAGSTATS 4.2, un logiciel permettant de quantifier la structure spatiale de cartes d'occupation du sol. Il a été utilisé pour évaluer la configuration spatiale de chacune des catégories d'occupation du sol.

Pour se faire, sept métriques paysagères ont été retenues pour analyser la configuration globale du paysage, l'organisation spatiale d'une unité d'occupation du sol et les caractéristiques d'une tâche individuelle. Ce sont :

- Nombre de patches (NP) : dont l'augmentation peut traduire une subdivision spatiale accrue ;
- Densité des patches (PD) qui rapporte le nombre de patches à la superficie du paysage.
- Le Largest Patch Index (LPI) exprime la proportion du paysage occupée par le plus grand patch d'une classe. Une diminution importante de LPI traduit une diminution de la dominance du plus grand ensemble spatial.

- Edge Density (ED) qui mesure la longueur des bordures rapportée à la superficie du paysage. Une augmentation peut traduire une augmentation des interfaces entre patches.

- Mean Shape Index (SHAPE_MN): Il caractérise la complexité géométrique moyenne des patches.

- Aggregation Index (AI) Il mesure le degré d'agrégation des cellules appartenant à une même classe.

- Patch Cohesion Index (COHESION) : Il renseigne sur la cohésion physique des patches d'une classe.

Les deux cartes ont été analysées avec des paramètres identiques, afin d'assurer la comparabilité des résultats. Les métriques ont été calculées automatiquement par FRAGSAT, après l'intégration des cartes d'occupation du sol de 2017 et 2024 au format raster. Les résultats sont des statiques pour chaque métrique et à chaque date.

III. RESULTATS

La mise en œuvre de la méthodologie a permis l'obtention de plusieurs résultats, notamment sur la cartographie de l'occupation du sol en 2017, et 2024, sur la dynamique de l'occupation du sol et la structure du paysage.

3.1 Dynamique générale de l'occupation du sol

3.1.1. Evolution de l'occupation du sol de 2014 à 2017

L'analyse diachronique de la zone humide met en évidence une évolution importante de l'occupation du sol entre 2017 et 2024. La figure 2 présente les états d'occupation du sol en 2017 et en 2024.

La cartographie de l'occupation du sol dans la zone Ramsar présente la distribution spatiale des différentes unités d'occupation du sol aux deux dates. le plan d'eau représenté par la lagune Gboklê est situé au centre pour les deux dates.

En 2017, Les milieux naturels sont marqués par la présence de forêt dense sur terre ferme ou humide, de forêt dégradée ou secondaire et de mangroves et marécages. L'essentiel de ces milieux naturels est présenté par la figure 2. Il est constitué de la forêt dense sur terre ferme/ humide est situé dans la forêt classée de Port-Gauthier, allant du Nord de la forêt jusqu'au Sud sur la côte, avec quelques forêts galeries à l'Ouest.

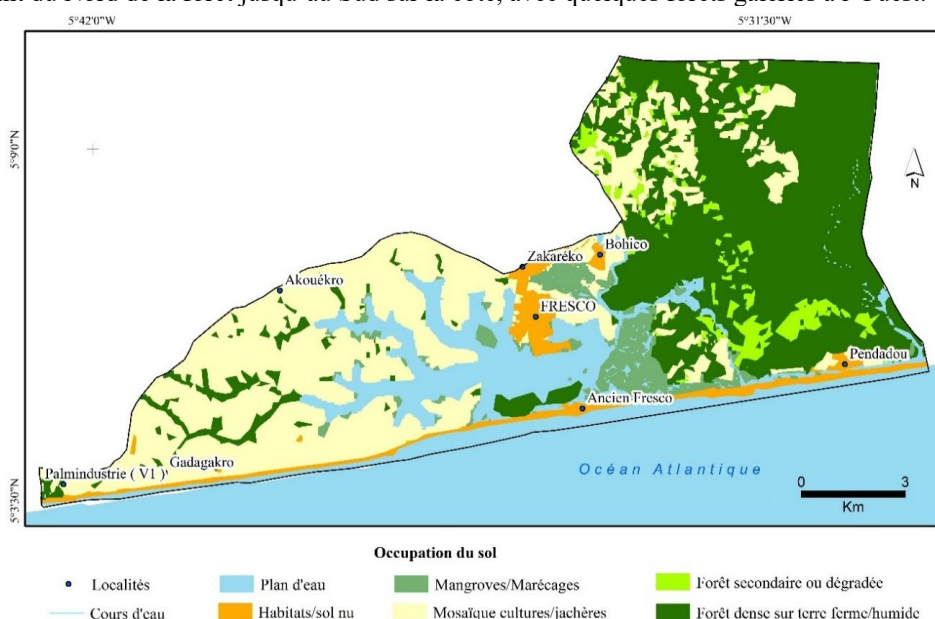


Figure 2: Carte d'occupation du sol de la zone Ramsar de Fresco en 2017

Elles représentent au total 5 666,8 ha, soit 36,78% de la zone Ramsar (Tableau 2). Elle constitue à cette date, le type d'occupation du sol le plus important de la zone humide. La forêt dégradée, insignifiante, se situe, elle aussi, dans la forêt classée de Port Gauthier, mais plus au Sud et sur de petites superficies (523,56 ha) qui ne représentent que 3,33% de la zone étudiée. Les mangroves et les marécages sont disséminés pour la majorité dans la partie Sud de la zone Ramsar et au Sud de la ville de Fresco, n'occupent que de petites superficies et ne couvrent que 703, 83 ha, soit 4, 03% de la zone de Fresco.

Tableau 2: Évolution des superficies des classes d'occupation du sol entre 2017 et 2024

Type d'occupation du sol	Superficie en 2017		Superficie en 2024		Evolution de l'occupation du sol	
	en Ha	En %		En %	en Ha	Taux d'évolution
Forêt dense sur terre ferme/humide	5 675,56	36,78	3 137,27	20,33	-2 538,29	-44,72
Forêt secondaire ou dégradée	513,56	3,33	528,27	3,42	14,72	2,87
Habitats/sol nu	741,04	4,80	975,70	6,32	234,66	31,67
Mangroves/Marécages	703,83	4,56	364,71	2,36	-339,11	-48,18
Mosaïque cultures/jachères	5 399,00	34,99	7 964,92	51,61	2 565,91	47,53
Plan d'eau	2 399,11	15,55	2 461,23	15,95	62,12	2,59
	15 432,10	100,00	15 432,10	100,00		

Les milieux anthropisés quant à eux sont représentés par le bâti/ sol nu et les mosaïques culture/ jachère représentant respectivement 741,04 ha, soit 4,8% et 5 399 ha soit 34,99%. A cette date, les zones de mosaïque cultures jachères occupent toute la zone Ouest de la zone humide et se retrouve dans le Nord-ouest de la forêt classée prêt du village de Bohico et le Sud sur le littoral. Le bâti/ sol nu est situé au Nord de la lagune Gboklè, mais aussi sur le littoral et dans le Sud de la forêt classée de Port Gauthier.

En 2024, La forêt dense sur terre ferme/ humide ne couvre plus qu'une partie de la forêt classée. Et est concentrée à l'Est avec quelques reliques de petites superficies sur l'ensemble des limites de la forêt classée (figure 3). Aussi, elle ne représente plus que 3137,27 ha. Elle a régressé de 2 538,29 ha. Elle a perdu plus de 44% de sa superficie en 7 ans.

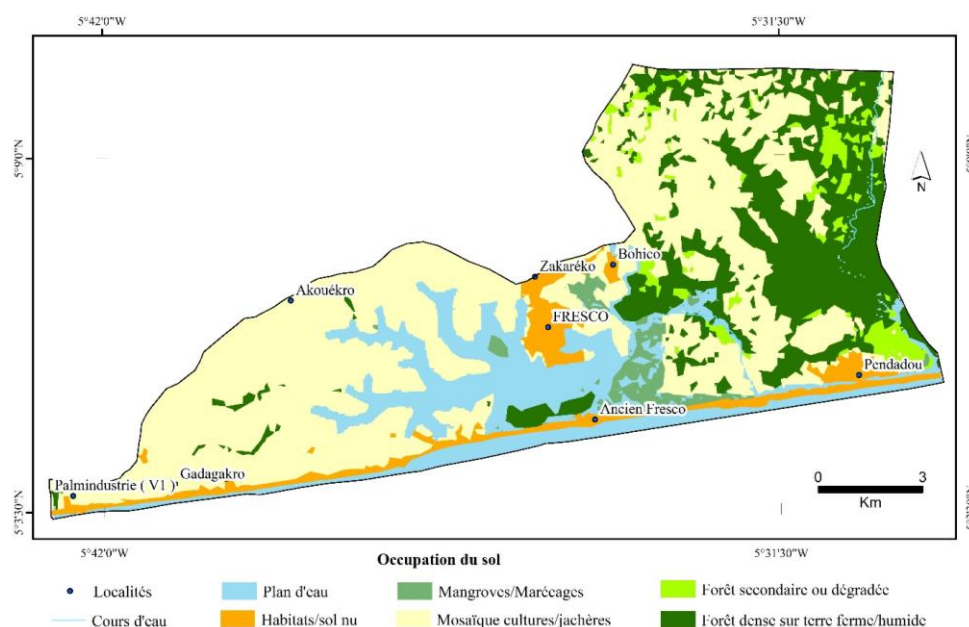


Figure 3: Carte d'occupation du sol de la zone Ramsar de Fresco en 2024

La forêt secondaire/ dégradée a sensiblement augmenté de 14,72 ha pour atteindre 528,276 ha. Elle se localise dans la forêt classée de Port Gauthier, précisément Nord-Est et Sud-Est. Les mangroves/ marécages quant à eux, ont connu une perte de leurs superficies de (48%) et ne représentent plus que 364,71 ha de la zone Ramsar en 2024.

Le bâti et sols nus ainsi que la mosaïque cultures/ jachères ont connu une importante hausse respectivement de 31,67% et 47,53%. Pour cette année, les cultures et jachères occupent plus de la moitié de l'espace avec 7 964,92, soit 51,61% de la zone humide de Fresco. Elle se localise dans toute la partie Ouest de la forêt classée en plus des espaces déjà occupés en 2017.

Cette évolution a entraîné plusieurs mutations dans la zone humide. Elles sont principalement caractérisées par le recul important de la forêt dense sur terre ferme/ humide et des mangroves/ marécages ainsi que l'expansion de la mosaïque cultures/jachères et du bâti et des sols nus.

3.2 Principales trajectoires de changement

Plusieurs transformations se sont opérées entre 2017 et 2024. Elles sont mises en évidence par la carte des changements sur la figure 4 et la matrice de transition (tableau 3) qui permettent de préciser et de localiser les transformations à l'origine des variations de superficies observées à cette période.

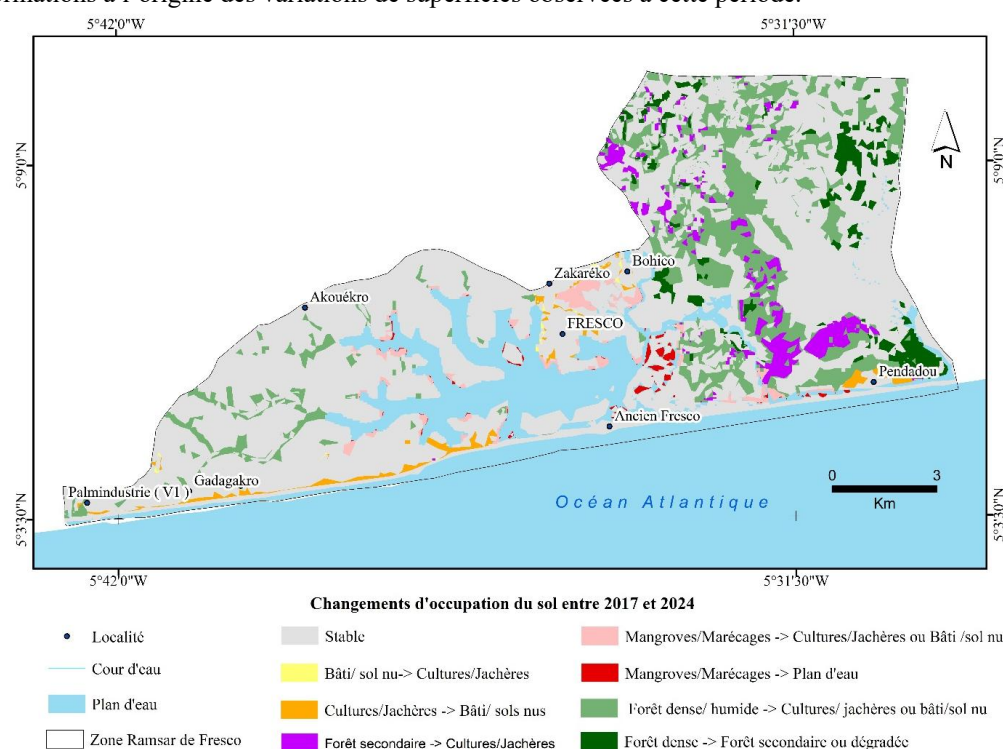


Figure 4: Dynamique d'occupation du sol entre 2017 et 2024 dans la zone Ramsar de Fresco

Les valeurs dans la diagonale correspondent aux superficies stables des unités d'occupation du sol, tandis que les autres valeurs traduisent les conversions entre classes.

Au regard de la matrice de transition, sur les 5 675,56 ha correspondant à cette classe en 2017, 3 137,27 ha demeurent classés en forêt dense en 2024. Ce qui correspond à un taux de stabilité de 55,28%. Néanmoins, elle présente une forte dynamique de transition. En effet, une superficie de 2 024,93 ha de forêt dense, soit 13,12% de la zone d'étude est convertie en cultures et jachères, tandis que 466,03 ha évoluent en forêt secondaire ou dégradée. La transition forêt dense vers les cultures et jachères constitue ainsi la principale trajectoire de conversion observée dans le paysage. Elle représente environ 35,7% de la forêt dense de 2017 (Figure 4)

La forêt secondaire ou dégradée présente un profil différent. Sur les 513,56 ha identifiés en 2017, seuls 62,24 ha persistent en 2024. La majeure partie des superficies, soit 450,93 ha (87,8%) est transformée en mosaïque cultures/jachères.

Les mangroves/marécages présente également des transformations importantes. En 2017, Sur les 741,04 ha observés, 392,64 ha sont maintenus dans cette classe en 2024. En revanche, 241,05 ha sont convertis en mosaïque cultures/jachères, 62,12ha en plan d'eau et 8,02 ha en habitats et sols nus.

Tableau 3: Matrice de transition de l'occupation du sol de la zone Ramsar de Fresco de 2017-2024

	Forêt dense sur terre ferme/humide	Forêt secondaire ou dégradée	Habitats /sol nu	Mangroves/ Marécages	Mosaïque cultures/ jachères	Plan d'eau	Total général
Forêt dense sur terre ferme/humide	3 137,27	466,03	47,33		2 024,93		5 675,56
Forêt secondaire ou dégradée		62,24	0,31	0,07	450,93		513,56
Habitats/sol nu			718,24		22,79		741,04
Mangroves/Marécages			8,02	364,64	269,05	62,12	703,83
Mosaïque cultures/jachères			201,79		5 197,22		5 399,00
Plan d'eau						2 399,11	2 399,11
Total général	3 137,27	528,27	975,70	364,71	7 964,92	2 461,23	15 432,10

La mosaïque cultures/jachères présente une forte persistance et apparaît surtout comme la principale classe bénéficiaire des conversions observées. Sur les 5 3990 ha présents en 2017, 5 197,22ha de ses superficies restent stable en 2024. A elles s'ajoutent notamment 2 024,93 ha issus de la forêt dense, 450,93 ha issus de la forêt secondaire ou dégradée et 241,05 ha des mangroves/marécages.

Les habitats/sols nus présentent une forte persistance. Sur les 741,04 ha présents en 2017, 718,24 ha conservent la même affectation en 2024 et 22,79ha sont convertis en mosaïque cultures/jachères. Ils reçoivent toutefois 47,33 ha provenant de la forêt dense, 8,02 ha provenant des mangroves/marécages et surtout 201,79 ha provenant de la mosaïque cultures/jachères.

La matrice de transition met ainsi en évidence une orientation dominante des changements vers la mosaïque cultures/ jachères. Les principales formations forestières et constituent les principales sources des superficies gagnées par cette classe. Ainsi l'expansion de la mosaïque cultures/ jachères est directement associée à la conversion des formations forestières et humides. Cette dynamique présente donc une transformation d'un milieu naturel vers un milieu anthropisé.

3.3 Évolution de la structure spatiale

L'analyse des métriques de FRAGSTATS est un complément sur les changements de composition et les trajectoires de conversions en caractérisant la modification de la configuration spatiale des classes. Les résultats montrent que les changements de superficie ne s'accompagnent pas d'un processus uniforme de fragmentation. Les classes présentent au contraire des configurations différenciées selon l'évolution du nombre de patches, du plus grand patche, des lisières, de la forme, de l'agrégation et de la cohésion (tableau 4).

Tableau 4: Tableau récapitulatif des métriques paysagères par classe d'occupation du sol entre 2017 et 2024

Classe d'occupation du sol	NP	PD	LPI (%)	ED	SHAPE_MN	COHESION	AI	Processus spatial dominant
Forêt dense sur terre ferme/humide	78 → 71	0,505 → 0,460	33,04 → 13,52	21,63 → 18,59	1,557 → 1,717	99,88 → 99,69	98,57 → 97,79	Régression et perte de dominance spatiale
Forêt secondaire ou dégradée	89 → 68	0,577 → 0,441	0,70 → 0,83	6,88 → 6,34	1,402 → 1,469	97,58 → 97,51	95,16 → 95,76	Recomposition et concentration relative
Mosaïque cultures/jachères	64 → 42	0,415 → 0,272	16,82 → 27,18	21,97 → 23,47	1,755 → 1,856	99,71 → 99,86	98,43 → 98,85	Expansion et consolidation
Mangroves/marécages	68 → 34	0,441 → 0,220	2,33 → 1,58	7,56 → 3,54	1,505 → 1,421	99,00 → 99,10	96,22 → 96,77	Régression et contraction spatiale
Plans d'eau	144 → 108	0,933 → 0,700	10,13 → 10,42	13,79 → 13,60	1,510 → 1,550	99,67 → 99,68	97,63 → 97,76	Réorganisation/consolidation

Habitats/sols nus	16 → 9	0,104 → 0,058	2,82 → 4,13	6,01 → 6,60	1,916 → 2,200	→	99,52 → 99,62	→	97,15 → 97,65	Expansion et concentration
--------------------------	-----------	---------------------	-------------------	-------------------	---------------------	---	---------------------	---	---------------------	-----------------------------------

3.3.1 Forêt dense

La forêt dense passe de 78 à 71 patches , tandis que sa densité passe de 0,505 à 0,460. Le changement le plus marquant est sont LPI qui baisse fortement, de 33,04 % à 13,52 % ; cela traduit une perte importante de dominance du plus grand ensemble forestier. Ainsi la dynamique de la forêt dense est principalement caractérisée par une régression de la superficie accompagnée d'une dominance du plus grand massif et de sa reconfiguration spatiale.

3.3.2 Forêt secondaire ou dégradée

Le nombre de patches de forêt secondaire ou dégradée diminue de 89 à 68, tandis que le LPI augmente de 0,70 % à 0,83 %. L'AI progresse légèrement, de 95,16 à 95,76, alors que la cohésion reste pratiquement stable. La configuration de cette classe évolue donc vers une concentration relative des patches. Cette évolution est cohérente avec la forte recomposition révélée par la matrice de transition.

3.3.3 Mosaïque culture/ Jachères

Cette classe d'occupation du sol a une évolution plutôt différente. De 64 patches en 2024, il se retrouve à 42, tandis que le PLI augmente fortement de 16,82% à 27,18%. Son AI et sa cohésion augmentent légèrement respectivement de 0,42% et de 0,15%. Cette combinaison exprime une expansion de la mosaïque cultures/jachères avec une consolidation spatiale de cette unité paysagère.

3.3.4 Mangroves/marécages

Les mangroves connaissent une forte contraction spatiale. Le nombre de patches diminue de 68 à 37, le LPI de 2,33% à 1,58% et l'ID de 7,56 à 3,54. L'AI quant à lui augmente légèrement de 96,22 à 96,77, tandis que la cohésion reste élevée. La combinaison de ces indicateurs traduit principalement une régression et une contraction spatiale des formations humides, avec un maintien relatif de l'agrégation des patches restants. Cependant, la matrice de transition montre que 62,24 ha mangroves/ marécages de 2017 demeurent dans cette classe , tandis que 450,93ha sont convertis en mosaïque cultures/ jachères. Alors cette diminution des patches n'est pas une amélioration écologique, elle résulte de la disparition de nombreux petits patches et de la concentration des formations humides restantes.

3.3.5 Plans d'eau

Ils présentent une stabilité relative. Toutes les métriques restent pratiquement stables. Seul le nombre de patches des plans d'eau est passé de 144 à 108, alors que la superficie des plans d'eau a légèrement augmenté (hausse de 62,12 ha). Cette situation traduit une consolidation des surfaces en eau avec une réorganisation relative.

3.3.6 Habitats/sols nus

Les superficies d'Habitats/sols nus se sont accrues. Parallèlement, leur nombre de patches s'est réduit passant de 16 à 9 tandis que le LPI et le SHAPE_MN ont fortement augmenté allant respectivement de 2,82% à 4,1% et de 1,916 à 2,2. Cette évolution traduit une expansion accompagnée d'une concentration spatiale des patches et d'une augmentation de leur complexité géométrique.

Dans l'ensemble , les métriques analysées par classe montrent que les unités d'occupation du sol n'évoluent pas selon un processus de fragmentation.

3.4. Modification de la structure globale du paysage

L'analyse générale au niveau du paysage permet d'apprécier les transformations de la structure spatiale indépendamment des changements propres à chaque classe. A l'échelle globale du paysage, les métriques FRAGSTATS révèlent une modification importante de la structure spatiale de la zone humide entre 2017 et 2024.

Le nombre de patches et leur densité régressent de 27,7% , passant respectivement de 459 à 332 patches et de 2,074 à 2,151. Il en est de même pour le LPI paysager qui diminue de 17,7% tandis que la densité des lisières (ED) recule de 7,3% (Tableau 5). A contrario, l'indice de contagion augmente de 4,6% . Il traduit une augmentation de la contiguïté spatiale des classes avec une tendance d'organisation plus agrégée alors que

l'indice de diversité et d'équitabilité diminuent respectivement de 6% et 6,1%. C'est une évolution qui indique une régression de la diversité et de l'équilibre spatiale entre les différentes classes d'occupation du sol.

Tableau 5: Matrice de transition de l'occupation du sol de la zone Ramsar de Fresco de 2017-2024

Groupe	Métrique	2017	2024	Variation absolue	Variation relative	Interprétation synthétique
Subdivision	NP – Nombre de patches	459	332	-127	-27,7 %	Diminution du nombre total de patches
	PD – Densité des patches	2,974	2,151	-0,823	-27,7 %	Diminution de la densité des patches
	MESH	2 484,72	2 240,19	-244,54	-9,8 %	Diminution de la taille effective des mailles
	SPLIT	6,211	6,889	0,678	10,90%	Augmentation de la subdivision effective
Dominance	LPI – Largest Patch Index	33,036	27,176	-5,860	-17,7 %	Baisse de la dominance du plus grand patch
Lisières	ED – Edge Density	38,922	36,063	-2,859	-7,3 %	Diminution de la densité des lisières
Agrégation	CONTAG – Contagion	57,043	59,665	2,623	4,60%	Augmentation de la contiguïté entre classes
	AI – Aggregation Index	98,09	98,23	0,14	0,10%	Agrégation globale presque stable
Diversité	SHDI – Shannon Diversity Index	1,423	1,337	-0,086	-6,0 %	Diminution de la diversité paysagère
	SHEI – Shannon Evenness Index	0,794	0,746	-0,048	-6,1 %	Diminution de l'équilibre entre les classes

L'augmentation du SPLIT de 10,9% et la régression du MESH de 9,8% transcrivent par ailleurs une transformation de la subdivision du paysage.

Tous ces résultats mettent en exergue une recomposition de la structure paysagère. Elle ne suit pas une trajectoire simple de fragmentation croissante ou décroissante. Elle est caractérisée par la réduction du nombre de patches, la concentration croissante de certaines classes et la modification de la subdivision effective du paysage. Il est donc nécessaire de mettre en évidence ces résultats avec les dynamiques anthropiques et environnementales susceptibles d'expliquer ces modifications, ainsi que leurs implication la gestion de la zone Ramsar de Fresco.

IV. DISCUSSION

4.1 Précision des classifications

Cette étude a permis la cartographie de l'occupation du sol en 2017 et 2024 . Les classifications par Super Vector Machine (SVM) ont été validée grâce aux précisions globales de 98,36% et 99,54% respectivement pour 2017 et 2024 ; et aux coefficients de kappa qui sont supérieur à 0,7 comme le suggère [6]. Ces résultats s'apparentent à ceux de [7]. Néanmoins, quelques erreurs de classifications ont été noté. Elles découlent de la similarité spectrale entre certaines classes, notamment les forêts denses et mangrove, les forêts denses et les mosaïques cultures/ Jachères. Ces confusions ont aussi été notées par [8].

4.2 Analyse de la dynamique d'occupation du sol

Les résultats sur la dynamique de l'occupation du sol montrent que la transformation de la zone humide de Fresco entre 2017 et 2024 est caractérisée par une perte importante de superficie et de dominance spatiale de la forêt dense et des mangroves/ marécages, au profit de la mosaïque cultures/ jachères et dans la moindre mesure au profit des Habitats et sol nus. Cette régression pourrait avoir des implications écologiques importantes, car elle modifie la structure spatiale des habitats, même lorsque le nombre total de patches varie peu.

La mosaïque cultures/jachères quant à elle gagne simultanément en superficie et en agrégation. Cette situation suggère une transformation du paysage dans laquelle la mosaïque agricole devient progressivement la matrice dominante. Cette transformation peut accroître l'isolement relatif des formations naturelles résiduelles lorsque celles-ci sont progressivement entourées par des espaces agricoles ou anthropisés [9]. De ces analyses, il en ressort que l'agriculture est un facteur dominant de ces dynamiques spatiales. De nombreux travaux en Afrique de l'ouest sont unanimes sur l'agriculture comme moteur de transformation du paysage dans les zones rurales. Ce constat est le même dans de nombreuses zones humides ou forestières ou l'action anthropique est un moteur de transformation du milieu. En effet, plusieurs travaux [9] ont indexés l'agriculture et la crise énergétique comme source de dégradation des milieux naturels.

4.3 Apport et limites des métriques paysagères

Cette étude a mise en exergue l'intérêt des métriques paysagères en complément de l'analyse des changements d'occupation du sol. L'utilisation conjointe de NP, PD, LPI, ED, SHAPE_MN, COHESION et AI a permis de dépasser la lecture du paysage sur les variations de superficie issue de la matrice de transition, et renseigne aussi sur la configuration spatiale des classes. Les travaux sur les métriques paysagères soulignent précisément la nécessité d'éviter une interprétation isolée des indices, ceux-ci pouvant répondre simultanément à des changements de composition et de configuration [10]. En effet, l'intérêt de l'analyse avec les métriques paysagères réside dans la caractérisation de différentes formes de recomposition spatiale. Elles révèlent des trajectoires différentes selon les classes : subdivision ou modification de formes des tâches, réduction des superficies, régression de leur cohésion ou maintien de leur agrégation.

Le choix de plusieurs métriques complémentaires est donc nécessaire car aucune métrique prise isolément ne suffit à caractériser la fragmentation d'un habitat. Néanmoins, ce choix de plusieurs métrique devra tenir compte de leur corrélation et de l'éventuelle redondance. Cette précaution est également soulignée dans plusieurs travaux méthodologiques consacrés à l'évaluation de la fragmentation [11]. Toutefois, les métriques paysagères présentent certaines limites. Leur interprétation dépend notamment de la résolution spatiale des données, de la qualité de la classification, de la proportion des différentes classes et de la configuration initiale du paysage [12]. Aussi, certaines métriques peuvent également avoir des réponses similaires à un même processus spatial, ce qui nécessite leur analyse conjointe plutôt qu'isolée.

Dans la présente étude, ces limites ont été prises en compte par la confrontation de la variation des superficies, à la matrice de transition et aux métriques de configuration spatiale. Cette approche permet ainsi de nuancer l'interprétation des changements du paysage et d'éviter d'assimiler systématiquement une perte de superficie à un processus de fragmentation [13].

V. CONCLUSION

Cette étude après la cartographie de l'occupation du sol en 2017 et en 2024 avait pour objectif d'analyser les transformations de la structure spatiale du paysage dans la zone humide Ramsar de Fresco entre 2017 et 2024 à partir de données de télédétection, d'une matrice de transition et de métriques paysagères.

Les résultats montrent une recomposition importante du paysage entre 2017 et 2024. L'évolution du paysage de Fresco ne se caractérise pas par une fragmentation homogène de toutes les formations. Elle correspond plutôt à une recomposition spatiale différenciée, associant régression forestière, expansion et consolidation des mosaïques agricoles, recomposition des formations humides et fragmentation accrue des plans d'eau.

En effet, les principales transformations concernent d'abord la diminution de la forêt dense, dont la superficie recule d'environ 44,5 %, avec 2 024,93 ha de forêt dense en mosaïque cultures/jachères et une perte importante de dominance du plus grand ensemble forestier. Ensuite, Les mangroves et marécages présentant une évolution particulièrement complexe et dont la perte nette de superficie reste relativement limitée, mais présente un renouvellement spatial important. Puis, la mosaïque cultures/jachères, elle, augmente de près de 48,5 % et devient la classe dominante du paysage. Les métriques paysagères indiquent que cette expansion s'accompagne d'une consolidation spatiale plutôt que d'une fragmentation.

Cette étude montre donc l'intérêt d'associer les changements de composition aux métriques de configuration pour caractériser les transformations des zones humides tropicales. Elle fournit également une

base pour identifier les secteurs nécessitant une attention particulière dans les stratégies de conservation et de restauration du site Ramsar de Fresco.

Des travaux complémentaires pourraient approfondir cette analyse par l'intégration de données à très haute résolution, de données de terrain et d'indicateurs de connectivité fonctionnelle.

REFERENCES

- [1] Akadje-Konan, L. M.-C., Suivi spatio-temporel de la mangrove du complexe Sassandra-Dagbégo. RIGES, 2021, (10), p. 6-20.
- [2] Convention sur les zones humides, Perspectives mondiales des zones humides 2025: Valoriser, conserver, restaurer et financer les zones humides. Gland, Suisse : Secrétariat de la Convention sur les zones humides, 2025-fr, 80p.
- [3] Dechaicha, A. Alkama, D., A spatio-temporal cartography and landscape metrics of urbanization patterns in Algerian low-sahara. The case of Ouargla city. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2020, 12(3), pp.1235-1252.
- [4] Wang, X. Blanchet, G. et Koper, N., Measuring habitat fragmentation: an evaluation of landscape pattern metrics. Methods in ecology and evolution, 2014, 5(7), pp. 634- 646.
- [5] Egnankou, W. M. Sankare, Y. et CONARAMS-CI, Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar : Fresco, Fresco Ramsar Site, site no. 1582. Côte d'Ivoire, 18p.
- [6] Pontius, R. G., Erreur de quantification versus erreur de localisation dans la comparaison de cartes catégorielles. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, (66), pp. 1011-1016.
- [7] Zanvo, S. Barima, S. Salako, V. Koua, N. Olawole, M. Assogbadjo, E. et Glele, K. R., Mapping spatiotemporal changes in mangrove cover and projection in 2050 of their future state in Benin. Bois et Forêts des Tropiques, 2021, pp. 29-42.
- [8] Traoré, F. Ouédraogo, B. et Zoungana, B. J. B., Dynamiques d'occupation des terres et fragmentation paysagère dans l'Ouest du Burkina Faso entre 1990 et 2022. Physio-Géo, 2026, (22)-00001, pp.19-44.
- [9] Hountondji, Y. C. Gaoe, O.G. Sokpon, N. et Ozer, P., Analyse écogéographique de la fragmentation du couvert végétal au nord Bénin: paramètres dendrométriques et phytoécologiques comme indicateurs in situ de la dégradation des peuplements ligneux. Geo-Eco-Trop, 2013 37(1), pp. 53-70.
- [10] Fischer, J. et Lindenmayer, D., Modification du paysage et fragmentation des habitats : une synthèse. Global Ecology and Biogeography, 2017 (16), pp. 265-280.
- [11] Kerr, B. et Remmel, T., Activity-based measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology, 2024, volume 39, 198p.
- [12] Hesselbarth, M. Nowosad, J. Flamingh, A., Computational Methods in Landscape Ecology. Current Landscape Ecology Reports, 2025, 10p.
- [13] Chacon-Pacheco, J. Urbina-Cardona, N. Perez-Torres, J., Meta-analysis on the effects of composition a configuration of landscape on the functional diversity of tropical mammals. Journal of Applied Ecology, 2026, 63 (5), pp. 1587-1602.