

Article original

Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols du bassin lagunaire Inferieur circonscrit au site Ramsar 1017 et analyse prédictive de leur évolution future au Bénin

GBAÏ Nofodo Innocent

Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale

Auteur correspondant : gbainofodo@gmail.com

Article soumis, le 05/11/2025 et accepté, 06 février 2026

Réf : AUM13(1)- SPECIAL 1

Résumé : Cette recherche a été faite dans le bassin lagunaire inférieur, qui se trouve au sud-ouest du Bénin, entre les départements du Mono et de l'Atlantique. Il couvre entièrement la commune de Grand-Popo et en partie les communes d'Abomey-Calavi et d'Ouidah. Il fait environ 40 996,54 km² soumis à une forte pression anthropique, mettant en danger la biodiversité et les services écosystémiques. C'est un enjeu majeur pour la planification territoriale et la résilience environnementale. Elle vise à évaluer les dynamiques passées et futures de l'occupation du sol dans le bassin lagunaire inférieur afin de proposer des scénarios prospectifs et d'identifier les enjeux socio-environnementaux associés. La méthodologie s'appuie sur l'analyse des matrices d'occupation du sol pour les périodes 1995–2010 et 2010–2025, combinée à des indices de changement, taux annuels et graphiques d'évolution. Les projections futures (2060 et 2090) ont été réalisées à l'aide du modèle CA–Markov, intégrant les probabilités de transition et la dynamique spatiale. Les résultats ont été comparés à la littérature scientifique régionale et internationale pour valider les tendances observées et interpréter les implications socio-environnementales. Entre 1995 et 2025, les surfaces bâties (HAB) ont augmenté de 1 612 km² à 4 895 km² (+203 %), représentant de 3,9 % à 11,9 % du territoire. Les forêts et savanes (FSM et SASA) ont régressé respectivement de 17 033 km² à 16 434 km² (-3,5 %) et de 6 866 km² à 6 564 km² (-4,5 %). Les terres agricoles traditionnelles (CJ et CJP) ont diminué de 9 486 km² à 7 005 km² (-26 %), tandis que les plantations commerciales (PE, PFo) ont progressé de 2 919 km² à 3 286 km² (+12,5 %). Les

scénarios prospectifs CA–Markov indiquent qu'à l'horizon 2090, les zones urbaines pourraient représenter plus de 25 % du territoire, tandis que les formations naturelles pourraient tomber en dessous de 35 %, mettant en évidence un risque accru de perte de biodiversité et de services écosystémiques si aucune mesure de gestion n'est adoptée.

Mots clé : Bénin, Dynamique spatio-temporelle ; bassin lagunaire Inferieur ; évolution future

Spatio-temporal dynamics of land use in the Lower Lagoon Basin within Ramsar Site 1017 and predictive analysis of future changes in Benin

Abstract: This research was conducted in the lower lagoon basin, located in south-western Benin, between the departments of Mono and Atlantique. It covers the entire municipality of Grand-Popo and part of the municipalities of Abomey-Calavi and Ouidah. It covers approximately 40,996.54 km² and is subject to significant anthropogenic pressure, endangering biodiversity and ecosystem services. This is a major challenge for spatial planning and environmental resilience. The aim is to assess past and future land use dynamics in the Lower Lagoon Basin in order to propose prospective scenarios and identify the associated socio-environmental issues. The methodology is based on the analysis of land use matrices for the periods 1995–2010 and 2010–2025, combined with change indices, annual rates and evolution graphs. Future projections (2060 and 2090) were made using the CA–Markov model, incorporating transition probabilities and spatial dynamics. The results were compared with regional and international scientific literature to validate the observed trends and interpret the socio-environmental implications. Between 1995 and 2025, built-up areas (HAB) increased from 1,612 km² to 4,895 km² (+203%), representing 3.9% to 11.9% of the territory. Forests and savannahs (FSM and SASA) declined from 17,033 km² to 16,434 km² (-3.5%) and from 6,866 km² to 6,564 km² (-4.5%) respectively.

Keywords: Benin, Spatio-temporal dynamics; Lower lagoon basin; future evolution

Introduction

La démographie croissante et par conséquent l'augmentation des pressions anthropiques sur les ressources naturelles constituent les premières causes de leur dégradation. La déforestation, la désertification et la fragmentation des écosystèmes sont parmi les principaux facteurs induisant des changements dans les écosystèmes et ont des implications significatives pour le fonctionnement des écosystèmes et la conservation de la biodiversité (Tapia-Armijos et

al. 2015). En effet, les changements du couvert végétal constituent l'une des priorités pour le développement des stratégies de gestion durable des écosystèmes (Schulz *et al.* 2010). Ces changements sont influencés par la manière dont les facteurs biophysiques des terres sont manipulés et par les intentions sous-jacentes à ces manipulations (Qingqing *et al.*, 2012, Padonou *et al.* 2017). Certains des écosystèmes les plus touchés représentent une source importante de produits utiles aux familles rurales et sont principalement utilisées pour satisfaire les besoins domestiques et augmenter les revenus de la famille (Cabral et Costa 2017). Les zones humides font partie de ces écosystèmes les plus touchés. Cependant, elles constituent l'un des écosystèmes les plus riches de la planète et se placent en deuxième position après les forêts tropicales sur le plan de la biodiversité et de la productivité naturelle (Vaschalde 2014, Hounto *et al.* 2019).

Dans le sud du Bénin, les zones humides sont désormais soumises à une crise environnementale, alors que par le passé, elles étaient épargnées par le phénomène de dégradation des ressources naturelles en raison de la faible pression anthropique (Hounto *et al.* 2019). Cette situation est la conséquence directe de la migration interne des populations à la recherche de terres agricoles fertiles contribuant ainsi à accélérer la dégradation de ces zones humides. Faisant partie des zones humides du sud Bénin, le site Ramsar 1017, malgré sa biodiversité importante et sa forte productivité, subit également une forte pression anthropique et par conséquent une forte déforestation et dégradation des terres. Les écosystèmes les plus affectées sont ceux ayant un grand intérêt pour le maintien de la biodiversité à savoir les formations forestières telles que les mangroves, les forêts claires, les savanes, etc... Les mangroves sont des écosystèmes fragiles qui exercent une fonction capitale dans les paysages fluvio-marins. Elles sont fortement sollicitées par les populations riveraines qui en tirent plusieurs services écosystémiques dont prioritairement les services d'approvisionnement. Toutefois, l'on

ne connaît pas avec certitude à quel rythme ces écosystèmes se dégradent.

L'urgence est donc de pouvoir quantifier le rythme de dégradation des écosystèmes du site Ramsar 1017 afin de mieux calibrer et adapter les mesures de contrôle et de restauration. L'adoption des mesures de contrôle de la déforestation et de la dégradation des terres nécessite l'identification et le suivi des premiers signes indicateurs (Padonou *et al.* 2017). Parmi, les indicateurs biophysiques généralement utilisées, il y a les changements du couvert végétal et des types d'occupation des terres (Vogt *et al.* 2011). L'analyse de la dynamique des changements dans l'occupation des terres et le couvert végétal est un outil fondamental pour l'adoption de stratégies de conservation de la biodiversité (Verburg *et al.*, 2009) et pour l'évaluation des conséquences environnementales des activités humaines sur l'environnement (Verburg *et al.*, 2011 ; Kanianska *et al.*, 2014). En effet, la dynamique des changements de l'occupation des terres et du couvert végétal est influencée par le type d'occupation des terres, les mécanismes écologiques de la succession et la régénération, les composantes physiques de l'environnement, les activités socio-économiques et leur contexte culturel, des phénomènes météorologiques et les catastrophes naturelles (Yu et Lu, 2011).

Dans ce contexte, pour obtenir des informations scientifiques sur la dynamique de l'occupation des terres du site Ramsar 1017 afin d'orienter les prises de décision en matière de gestion durable de ces écosystèmes, la présente recherche a pour objectifs de (i) analyser la dynamique passée de l'occupation du sol entre 1995 et 2015 dans les zones de mangroves du site Ramsar 1017 et de (ii) établir des scénarii futurs à l'horizon 2050 de la dynamique de l'occupation du sol dans les zones de mangroves du site Ramsar 1017.

1. Milieu de recherche

La présente recherche a été réalisée dans le bassin lagunaire inférieur circonscrit au site Ramsar 1017 au Bénin. Il s'agit d'un secteur de recherche situé à cheval entre les départements du Mono et de l'Atlantique. Il couvre entièrement le territoire administratif de la Commune de Grand-Popo, puis partiellement ce des Communes d'Abomey-Calavi et de Ouidah. Le site est situé au sud-ouest du Bénin et localisée entre 6°12'38"-6°25'48" de latitude Nord et 1°39'32"-2°20'28" de longitude Est (Figure 1). Elle couvre une superficie d'environ 40996,54 Km², ou 4099654,121 hectares environ.

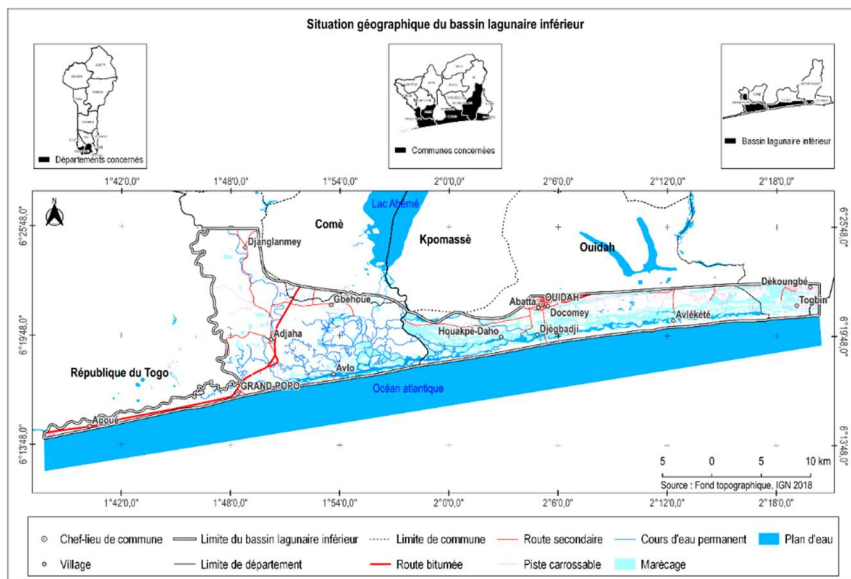


Figure 1 : Localisation du bassin lagunaire inférieur circonscrit au site Ramsar 1017 au Bénin

Le site Ramsar 1017 auquel est circonscrit le bassin lagunaire objet de la recherche jouit d'un climat de type subéquatorial à deux saisons pluvieuses et à deux saisons sèches en alternance et d'inégales durées (Amoussou 2002, Houna et al. 2016). Son régime pluviométrique est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles qui oscillent entre 850 et 1160 mm (Amoussou et Totin 2015) et une température variante entre 27,3°C et 22°C (Amoussou 2002).

Les principaux sols rencontrés sur le site sont de types hydromorphes, sablonneux et ferralitiques. On note également la présence avec une faible expansion de vertisols et de sols ferrugineux tropicaux. Les formations végétales sont constituées des mangroves et les formations dérivées, les forêts riveraines, les savanes, la végétation de terre de barre, les plantations, les jachères et les champs de cultures (Amoussou 2002). Le réseau hydrographique est diversifié et constitué par le fleuve Mono, les lacs Toho, Togbadji, et Ahémé. Ce dernier sert de relai au fleuve Couffo vers la Mer par le biais de la Bouche du Roi. Il est indispensable d'énumérer par ailleurs la lagune côtière, le chenal Aho (Amoussou 2002) et la façade maritime du secteur. L'effectif de la population est passé de 1 278 356 habitants en 2002 à 1 861 408 habitants en 2013 (INSAE 2013) pour l'ensemble du site de Ramsar 1017.

2. Matériel et méthode

2.1. Données utilisées et leurs caractéristiques

Analyse des changements de l'occupation du sol sur les deux périodes considérées

Trois sous-scènes d'images satellites Landsat des années 1995, 2010 et 2025 ont été interprétées. Toutes les images ont été acquises pendant la saison sèche afin de minimiser les variations phénologiques de la végétation (Clerici et al. 2007).

Landsat acquises pour les années 1995, 2010 et 2025 couvrant les bassins lagunaires inférieur et supérieur du sud Bénin. Ces images,

obtenues via la plateforme USGS Earth Explorer, ont été choisies pour leur résolution spatiale de 30 m et leur disponibilité multi-temporelle permettant une analyse diachronique de l'occupation du sol.

Les images ont été prétraitées afin d'assurer leur comparabilité dans le temps. Les prétraitements ont inclus la correction radiométrique, la correction atmosphérique, le masquage des nuages et le découpage spatial selon les limites des bassins à l'aide d'un shapefile de délimitation. Les données ont ensuite été projetées dans le système de coordonnées UTM WGS 84, zone 31N.

La classification des images a été réalisée à l'aide d'un algorithme supervisé (Maximum de vraisemblance), sur la base d'un jeu d'échantillons d'apprentissage collectés par photo-interprétation. Les classes d'occupation du sol définies sont les quatorze continues dans la nomenclature nationale de l'occupation des terres.

2.2. Méthode de traitement des données

Le traitement des données s'est déroulé en plusieurs étapes principales.

2.2.1. Prétraitement des images Landsat

Il a porté sur la correction atmosphérique et radiométrique, le masquage des nuages et l'harmonisation radiométrique entre les différentes périodes, ainsi que le découpage spatial selon les bassins étudiés.

2.2.2. Classification supervisée

Elle a consisté en l'utilisation de l'algorithme du Maximum de vraisemblance pour chaque année (1995, 2010, 2025) ; et le regroupement thématique des classes en six catégories principales pour la modélisation.

Tableau I : Nomenclature classique d'occupation du sol à partir des images satellitaires

Nomenclature classique d'occupation du sol	Classes pour la modelisation
Forêt galerie et formation ripicole (FGR)	Forêt
Forêt dense (FD)	
Forêt claire et savane boisée (FCSB)	
Mangrove (MG)	
Savane arborée et savane arbustive (SASA)	Savane
Forêt et savane marécageuse (FSM)	
Plantation forestière (PFo)	Plantation
Plantation fruitière (PFr)	
Champs et jachères sous palmiers (CJP)	Champs
Champs et jachères (CJ)	
Habitation (Hab)	Habitation
Plan d'eau (PE)	Autres
Sol érodé et dénudé (SED)	
Surface rocheuse (SR)	

Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain (Gbaï, 2025)

2.2.3. Production des matrices de transition

- Les cartes d'occupation du sol de 1995 et 2010 ont servi à générer une première matrice de transition (1995-2010), et celles de 2010 et 2025 une seconde (2010-2025) ;
- Ces matrices décrivent les probabilités de conversion d'une classe à une autre sur les périodes déterminées ;
- Elles constituent la base de l'estimation des probabilités markoviennes utilisées pour la simulation future.

2.3. Méthode d'analyse des données

L'analyse de l'évolution et de la dynamique de l'occupation du sol a été réalisée à l'aide des modules Markov Chain et CA_Markov intégrés dans le logiciel TerrSet.

2.3.1. Modèle de Markov

Le modèle de Markov a permis d'estimer les probabilités de transition entre les différentes classes d'occupation du sol à partir des paires de cartes (1995–2010 et 2010–2025).

Ces probabilités ont servi à prédire la structure spatiale globale de l'occupation du sol à l'horizon 2060 et 2090, sous l'hypothèse que les dynamiques observées se maintiennent.

2.3.2. Modèle CA_Markov (Cellular Automata - Markov) :

L'algorithme CA_Markov combine les probabilités markoviennes et les règles de voisinage spatiales pour intégrer la dimension spatiale et la continuité spatiale des changements d'occupation du sol ;

Un fichier de voisinage (5x5 pixels) a été utilisé pour la simulation, afin de mieux représenter les processus de diffusion et d'expansion des classes telles que les habitats ou les champs ;

Les résultats ont permis de produire des cartes prédites pour 2060 et 2090 illustrant les tendances probables d'évolution de l'occupation du sol.

2.3.3. Analyse des résultats

Les cartes prédites ont été comparées aux cartes observées afin d'évaluer la cohérence spatiale et temporelle des projections ;

Les taux d'expansion, de régression et de conversion entre classes ont été calculés à partir des matrices de transition ;

Enfin, les tendances à long terme ont été interprétées à la lumière des dynamiques socio-économiques et environnementales affectant les bassins lagunaires du sud Bénin.

Une fois, les cartes d'occupation du sol obtenues, la méthode de superposition a permis d'établir la dynamique de l'occupation du sol en superposant les cartes d'occupations du sol. Ainsi, trois dynamiques d'occupation du sol ont été obtenues, la première concerne les occupations du sol de 1995 à 2010, la deuxième de 2010 à 2025 et enfin la troisième 1995 à 2025 représentant le bilan global entre 1995 et 2025. L'analyse et l'interprétation concernent la dynamique spatio-temporelle. Elle vise à déterminer les effets positifs et négatifs en termes d'augmentation et de régression du couvert végétal résultant des diverses exploitations des mangroves.

❖ **Matrices de probabilité de transition**

Des matrices de probabilité de transition ont été élaborées pour les périodes 1995-2010 et 2010-2025 afin de décrire les changements survenus dans chaque type d'occupation du sol. Chaque matrice représente soit la probabilité de persistance de chaque type d'occupation du sol, soit la probabilité d'une transition vers un autre type d'occupation du sol de la première à la dernière année de la période. Les valeurs de la matrice ont été normalisées selon la procédure proposée par Rovainen (1996) et adoptée par Padonou *et al.* (2017) afin d'obtenir des changements dans les occupations du sol de façon annuelles et de procéder à des comparaisons. Pour annualiser les valeurs de la matrice, chaque matrice de probabilité a été utilisée séparément pour calculer les vecteurs propres et les valeurs propres de la matrice à l'aide de la méthode de diagonalisation (Çinlar, 1975 ; Padonou *et al.*, 2017).

❖ **Taux de régression ou de conservation**

Le taux de régression pour chacune des deux périodes (1995-2010 et 2010-2025) a été calculé sur la base des données d'occupation

du sol, en utilisant la formule proposée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 1996). Le taux de dégradation, D (% de zone perdue / an), a été calculé comme suit :

$$D = \left[1 - \left(1 - \left(\frac{A_1 - A_2}{A_1} \right)^{1/t} \right) \right] \times 100$$

Où A_1 et A_2 sont les superficies initiale et finale de chaque type d'occupation du sol, et t est l'intervalle en années pour lequel le changement d'occupation du sol est à l'étudié.

❖ **Etablissement des scénarios futurs de la dynamique de l'occupation du sol**

Les matrices de transition annualisées standard ont été utilisées pour prédire la proportion de chaque type d'occupation du sol à tout moment sur la base d'un modèle de la chaîne de Markov. On a supposé que deux scénarios différents correspondant à chacune des deux matrices de Markov possibles (1995-2010 et 2010-2025). La validation du modèle a été évaluée à l'aide d'un test χ^2 à pour vérifier la précision. La superficie escomptée à partir des scénarii de 2025 sur la base de la période 1995-2010 a été comparée à la superficie de 2025 observé sur la carte d'occupation du sol.

❖ **Calcul des taux de stabilité, de gain et de perte sur la base des données des matrices de transition**

Ces différents taux pour chacune des deux périodes (1995-2010 et 2010-2025) ont été calculé à partir des formules normalisées acceptées par les revues africaines.

Soit une classe i , le taux de :

- stabilité est présenté par la formule ci-après:

$$T_s(i) = \frac{S_{ii}}{\sum_j S_{ij}} \times 100$$

où

S_{ii} : Surface restée stable (diagonale)

$\sum_j S_{ij}$: surface totale de la classe en 1995 (année de départ).

- Taux de conversion (perte)

$$T_c(i) = 100 - T_s(i)$$

- Taux de gain

$$T_g(i) = \frac{\sum_j S_{ji} - S_{ii}}{\sum_j S_{ji}} \times 100$$

$\sum_j S_{ji}$: surface totale de la classe en 2010

- Taux annuel moyen de changement (1995–2010)

$$T\alpha = \frac{1}{Af - Ai} Tc$$

A_f (année finale), A_i (année initiale)

3. Résultats

3.1. Changement de l'occupation de sol sur les deux périodes

L'analyse diachronique des données de l'occupation du sol entre 1995, 2010 et 2025 met en évidence une dynamique marquée par une forte progression des surfaces d'habitats (+3282,74 km²) et des plantations (+256,93 km²), traduisant une urbanisation accélérée et une intensification des activités anthropiques. En parallèle, les formations naturelles et les mosaïques agroforestières

(FSM, CJP, CJ, SASA) enregistrent une régression significative, révélant une dégradation progressive du couvert végétal et une pression croissante sur les ressources naturelles.

Tableau II : Types d'occupation du sol considérés dans l'évaluation de la dynamique passée (superficie en ha)

Unités d'occupation du sol	Superficies (Km ²)					
	1995	(%)	2010	(%)	2025	(%)
FGR	22,72	0,06	19,19	0,05	19,19	0,05
FD	15,19	0,04	15,19	0,04	14,59	0,04
FCSB	51,81	0,13	49,64	0,12	47,33	0,12
SASA	6865,84	16,75	6622,09	16,15	6564,16	16,01
MG	1188,02	2,90	1200,46	2,93	1147,94	2,80
PE	2825,70	6,89	2914,90	7,11	3082,63	7,52
FSM	17032,97	41,55	16436,66	40,09	16434,46	40,09
PFo	93,20	0,23	92,65	0,23	203,53	0,50
PFr	1206,47	2,94	1233,01	3,01	1024,58	2,50
CJP	4796,51	11,70	3678,02	8,97	3429,79	8,37
CJ	4689,41	11,44	3459,58	8,44	3575,13	8,72
HAB	1612,62	3,93	4716,10	11,50	4895,36	11,94
SED	93,77	0,23	112,32	0,27	111,11	0,27
SR	502,32	1,23	446,75	1,09	446,75	1,09
Total	40996,54	100,00	40996,54	100,00	40996,54	100,00

Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain (Gbaï, 2025)

Tableau III : synthétique des changements (km²)

Classe	Δ 1995–2010	Δ 2010–2025	Δ 1995–2025	Tendance
FGR	-3,53	0,00	-3,53	Baisse
FD	0,00	-0,60	-0,60	Légère baisse
FCSB	-2,17	-2,31	-4,48	Baisse continue
SASA	-243,75	-57,93	-301,68	Forte régression
MG	+12,44	-52,52	-40,08	Instable, tendance négative

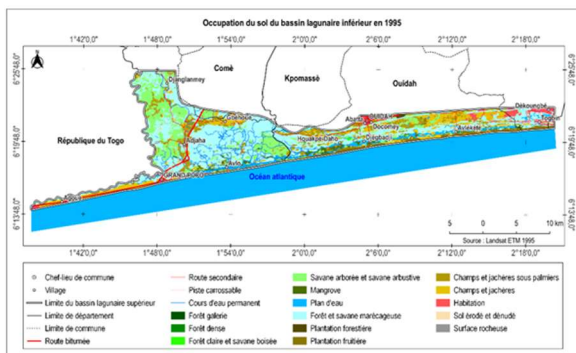
PE	+89,20	+167,73	+256,93	Forte progression
FSM	-596,31	-2,20	-598,51	Forte régression
PFo	-0,55	+110,88	+110,33	Forte progression récente
PFr	+26,54	-208,43	-181,89	Forte régression récente
CJP	-1118,49	-248,23	-1366,72	Très forte régression
CJ	-1229,83	+115,55	-1114,28	Régression globale
HAB	+3103,48	+179,26	+3282,74	Explosion urbaine
SED	+18,55	-1,21	+17,34	Stable
SR	-55,57	0,00	-55,57	Régression

Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain
(Gbaï, 2025)

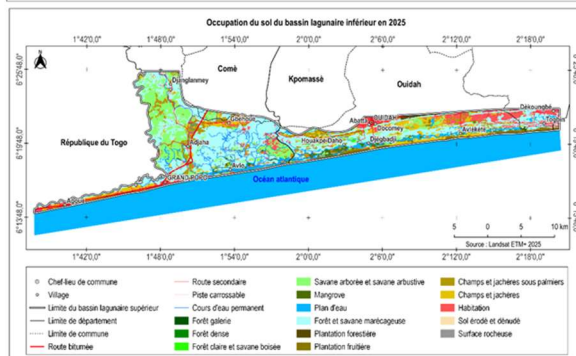
(-) : régression ; (+) : progression

Les proportions des types d'occupation du sol ont considérablement changé entre 1995 à 2010 ; 2010 à 2025 ; et 1995 à 2025 dans la zone lagunaire étudiée (Fig. 2 et 3). En 1995, les types d'occupation du sol eau et la plage (41,12 %), prairie et fourré (26,80 %) sont les plus dominants alors que les mangroves et les forêts et savanes font respectivement 12,13 % et 2 % (Tableau 1). En 2005 et 2015, les types d'occupation du sol eau et plage, prairie et fourré sont toujours les plus dominants. Cependant les superficies des mangroves ont augmenté (12,3 % en 2005 et 12,47 % en 2015). Alors, celles des forêts claires et savanes ont diminué (1,04 % en 2005 et 0,56 en 2015). Les superficies des plantations, des mosaïques de champs de jachère ont augmenté durant les deux périodes. Par contre, la superficie des agglomérations a diminué considérablement durant les deux périodes passant de 6,74 % en 1995 à 2,48 % en 2015.

(a)



(b)



(c)

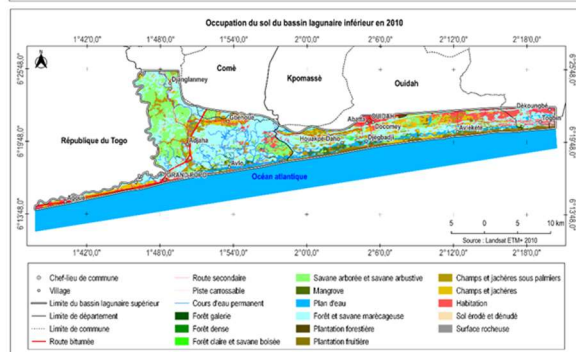


Figure 2 : Occupation du sol du bassin lagunaire inferieur circonscrit au site Ramsar 1017

3.2. Matrices de probabilité de transition

Les matrices de transition durant les périodes 1995-2010 et 2010-2025 (Tableau IV) ont été utilisées pour obtenir les matrices de probabilité de changement annuel (Tableau V).

L'analyse des matrices de transition 1995–2010 et 2010-2025 met en évidence une dynamique spatiale dominée par la conversion des terres agricoles (CJ, CJP) et des savanes (SASA) vers les zones d'habitat, traduisant une urbanisation rapide et une forte pression foncière. Les flux importants de CJ vers HAB (1 662 km²) et de CJP vers HAB (675 km²) confirment un processus avancé de périurbanisation. Parallèlement, les transitions FSM → SASA et SASA → SED traduisent une dégradation progressive du couvert végétal naturel, probablement liée aux pratiques agricoles extensives, aux feux de brousse et à l'exploitation du bois-énergie.

Cette matrice révèle clairement : une pression anthropique dominante ; une mutation profonde du système agraire ; une régression des écosystèmes naturels ; une urbanisation rapide non contrôlée.

Tableau IV : Matrices de transition de l'occupation du sol (superficie en km²) pour la période considérée (1995-2010)

	Classes	2010														Total (km ²)
		FGFR	FD	FCSB	SASa	MG	PE	FSM	PTFR	PTFT	CJP	CJ	HA	SED	SR	
1995	FGR	19,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,53	0,00	0,00	22,72
	FD	0,00	15,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,19
	FCSB	0,00	0,00	49,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	0,00	0,00	51,81
	SASA	0,00	0,00	0,00	6218,06	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	7,87	58,70	571,03	8,28	0,00	6865,84
	MG	0,00	0,00	0,00	0,00	1177,61	6,07	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94	0,00	0,00	1188,02
	PE	0,00	0,00	0,00	0,00	11,04	2806,93	7,09	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	2825,70
	FSM	0,00	0,00	0,00	404,03	11,81	17,34	16426,26	0,00	0,00	0,00	3,68	169,86	0,00	0,00	17032,97
	PFo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,65	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	93,20
	PFr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1201,72	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	1206,47
	CJP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,03	3627,56	404,15	674,65	62,12	0,00	0,00	4796,51
	CJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,08	0,00	0,00	2,43	38,16	2951,18	1662,55	0,00	0,00	4689,41
	HAB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1612,62	0,00	0,00	1612,62
	SED	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	4,43	40,68	5,91	41,92	0,00	93,77
	SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,09	0,00	446,75	502,32
	Total (km ²)	19,19	15,19	49,64	6622,09	1200,46	2914,90	16436,66	92,65	1233,01	3678,02	3459,58	4716,10	112,32	446,75	40996,54

Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain (Gbaï, 2025)

**Tableau V : Matrices de transition de l'occupation du sol
(superficie en km²) pour la période considérée (2010-2025)**

		2025															Total (km ²)
	Classes	FGFR	FD	FCSB	SASa	MG	PE	FSM	PTFR	PTFT	CJP	CJ	HA	SED	SR		
2010	FGR	19,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,19
	FD	0,00	14,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	15,19
	FCSB	0,00	0,00	47,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	49,64
	SASA	0,00	0,00	0,00	6537,57	0,00	0,00	0,00	79,71	0,00	0,00	0,31	4,49	0,00	0,00	0,00	6622,09
	MG	0,00	0,00	0,00	0,00	1124,01	4,85	71,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1200,46
	PE	0,00	0,00	0,00	0,00	6,18	2894,38	14,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2914,90
	FSM	0,00	0,00	0,00	15,68	9,72	183,39	16211,02	0,00	0,00	4,29	0,00	12,55	0,00	0,00	0,00	16436,66
	PFo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,65
	PFR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	938,34	0,00	294,66	0,00	0,00	0,00	0,00	1233,01
	CJP	0,00	0,00	0,00	10,90	6,92	0,01	137,48	0,00	84,69	3425,49	11,97	0,56	0,00	0,00	0,00	3678,02
	CJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,16	1,54	0,00	3265,22	161,65	0,00	0,00	0,00	0,00	3459,58
	HAB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4716,10	0,00	0,00	0,00	0,00	4716,10
	SED	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	111,11	0,00	0,00	112,32
	SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	446,75	0,00	446,75
	Total (km ²)	19,19	14,59	47,33	6564,16	1147,94	3082,63	16434,46	203,53	1024,58	3429,79	3575,13	4895,36	111,11	446,75		40996,54

Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain (Gbaï, 2025)

3.3. Taux de changement annuel (km²/an)

Ces valeurs expriment la vitesse réelle de transformation spatiale.

Tableau VI : Taux de changement

Classe	1995– 2010	2010– 2025	1995– 2025	Interprétation
FGR	-0,24	0,00	-0,12	Régression lente
FD	0,00	-0,04	-0,02	Quasi stable
FCSB	-0,14	-0,15	-0,15	Baisse progressive
SASA	-16,25	-3,86	-10,06	Forte dégradation
MG	+0,83	-3,50	-1,34	Instabilité
PE	+5,95	+11,18	+8,56	Forte dynamique agricole
FSM	-39,75	-0,15	-19,95	Déforestation marquée avant 2010

PFo	-0,04	+7,39	+3,68	Forte progression récente
PFr	+1,77	-13,90	-6,06	Effondrement après 2010
CJP	-74,57	-16,55	-45,56	Classe la plus affectée
CJ	-81,99	+7,70	-37,14	Forte conversion 1995–2010
HAB	+206,90	+11,95	+109,42	Urbanisation explosive
SED	+1,24	-0,08	+0,58	Stable
SR	-3,70	0,00	-1,85	Légère régression

Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain (Gbaï, 2025)

(-) : régression ; (+) : progression

L'analyse diachronique des dynamiques d'occupation du sol (1995–2010–2025)

L'analyse des taux de changement annuel d'évolution des classes d'occupation du sol révèle une transformation profonde et progressive du paysage, dominée par une intensification des activités humaines, une pression foncière croissante et une réorganisation des systèmes de production.

3.3.1. Expansion marquée des espaces bâtis (HAB)

La classe HAB présente la dynamique la plus spectaculaire, passant de 1 612 km² en 1995 à près de 4 895 km² en 2025. Cette augmentation traduit clairement : une urbanisation rapide et mal maîtrisée ; l'extension des zones périurbaines autour des pôles urbains ; l'augmentation démographique ; le développement des infrastructures (routes, écoles, marchés, équipements publics).

Sur le plan socio-économique, cette dynamique est cohérente avec : l'exode rural ; la concentration des activités économiques ; la spéculation foncière ; l'absence de planification urbaine efficace.

Sur le plan physique, cette artificialisation entraîne : l'imperméabilisation des sols ; la modification du ruissellement ; l'augmentation du risque d'inondation ; la fragmentation écologique.

3.3.2. Régression continue des formations naturelles (FSM, SASA, FCSB, FGR, FD)

Les classes correspondant aux formations végétales naturelles montrent une tendance générale à la baisse.

a) FSM (forêts semi-denses)

La baisse entre 1995 et 2010 est particulièrement forte. Elle peut s'expliquer par : l'exploitation du bois-énergie (charbon, bois de chauffe) ; l'extension des champs agricoles ; les feux de brousse récurrents.

b) SASA et FCSB

Ces unités, souvent assimilées à des savanes arborées ou arbustives, régressent progressivement.

Les causes probables incluent : la pression agricole ; le pâturage extensif ; la dégradation progressive des sols ; la variabilité climatique (sécheresses localisées).

c) FGR, FD

Leur superficie très faible et leur érosion lente traduisent : une dégradation ancienne déjà très avancée ; une faible capacité de régénération naturelle sous pression anthropique.

3.3.3. Mutation des systèmes agricoles (CJ, CJP, PE, PFo)

Les classes agricoles montrent des dynamiques contrastées révélatrices de changements de pratiques agricoles.

a) Forte régression des cultures/jachères (CJ, CJP)

La chute importante de CJ et CJP entre 1995 et 2010 suggère : l'abandon progressif du système traditionnel de jachère ; une

intensification Agricole; la conversion des terres agricoles en zones bâties; une pression foncière liée à l'urbanisation. Cette évolution traduit un déséquilibre croissant entre disponibilité foncière et besoins agricoles.

b) Progression des plantations (PE, PFo)

L'augmentation de PE et surtout PFo après 2010 est cohérente avec:

- le développement de cultures de rente (anacarde, palmier à huile, teck),
- les politiques publiques de promotion de certaines filières,
- l'attractivité économique des plantations par rapport aux cultures vivrières.

Cette mutation reflète une logique économique plus orientée vers le marché.

3.3.4. Indicateurs de dégradation environnementale progressive

Certaines classes comme SR, MG, SED traduisent des dynamiques plus subtiles :

- L'augmentation de SED peut correspondre à une dégradation des sols,
- la baisse de SR peut être liée à la déstructuration du couvert végétal,
- les variations de MG suggèrent une instabilité écologique, souvent associée aux pressions combinées (climat + activités humaines).

3.3.5. Lecture intégrée des dynamiques spatiales

Globalement, les données traduisent un processus classique de transition territoriale :

> Paysage naturel → Paysage agro-rural → Paysage périurbain
→ Paysage urbanisé

Ce processus est alimenté par : croissance démographique ; pression foncière ; faiblesse du contrôle de l'occupation du sol ; recherche de revenus rapides par l'agriculture commerciale ; vulnérabilité socio-économique des populations.

L'évolution diachronique de l'occupation du sol entre 1995 et 2025 met en évidence une dynamique dominée par l'expansion rapide des surfaces bâties et des plantations, concomitante à une régression significative des formations naturelles et des systèmes agro-traditionnels. Ces transformations traduisent une intensification de la pression anthropique sur les ressources foncières, amplifiée par la croissance démographique, les mutations économiques et les changements de pratiques agricoles, avec des implications environnementales majeures notamment en termes de perte de biodiversité, de dégradation des sols et de vulnérabilité accrue aux aléas hydroclimatiques.

3.4. Taux moyen annuel en % (1995–2025)

Cet indicateur montre la pression relative par classe.

Tableau VII : Taux moyen de changement annuel

Classe	% / an	Lecture
HAB	+6,79 % / an	Urbanisation extrêmement rapide
PFo	+3,95 % / an	Expansion récente marquée
PE	+0,30 % / an	Progression agricole continue
SED	+0,62 % / an	Légère augmentation
FGR	-0,52 % / an	Dégradation lente
PFr	-0,50 % / an	Forte pression récente
CJ	-0,79 % / an	Conversion agricole majeure
CJP	-0,95 % / an	Classe la plus dégradée
FSM	-0,12 % / an	Perte progressive
SASA	-0,15 % / an	Régression continue

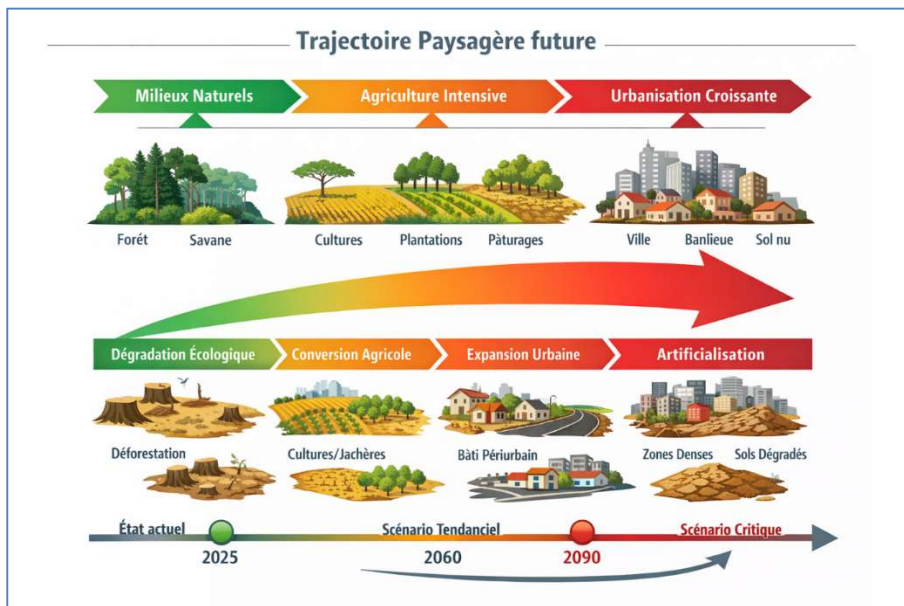
Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain (Gbaï, 2025)

L'analyse des taux annuels de changement révèle une dynamique spatiale fortement dominée par l'expansion des surfaces d'habitats, avec un rythme moyen de +109,42 km²/an entre 1995 et 2025

(+6,79 %/an), traduisant une urbanisation accélérée. À l'inverse, les classes CJP (-45,56 km²/an), CJ (-37,14 km²/an), FSM (-19,95 km²/an) et SASA (-10,06 km²/an) présentent des vitesses de régression élevées, révélant une conversion massive des formations naturelles et agroforestières vers des usages anthropiques. »

3.5. Futurs scenarii

Il s'agit des scénarii futurs d'occupation du sol selon le modèle CA-Markov (horizons 2060 et 2090). Elle se traduit par la figure ci-après :



Le modèle **CA-Markov (Cellular Automata – Markov)** combine :

- les **probabilités de transition** issues des matrices (1995–2010, 2010–2025),

- la **dynamique spatiale** (voisinage, attraction des zones urbaines, accessibilité),
- et la **tendance lourde des dynamiques passées**.

Les résultats montrent clairement que : HAB augmente fortement ; CJ, CJP, FSM, SASA diminuent ; PE et PFo progressent ; les milieux naturels sont sous pression constante.

Les transitions dominantes observées sont : CJ → HAB ; CJP → HAB ; SASA → HAB ; FSM → SASA → CJ → HAB ; CJ/CJP → PE.

Augmentation des zones anthropisées, le système évolue selon une trajectoire claire : Milieux naturels → agriculture → urbanisation → artificialisation.

Scénario 1 : Horizon 2060 (scénario tendanciel) se fondant sur l'hypothèse de continuité des dynamiques actuelles sans politique forte de régulation.

Dynamiques projetées : HAB (forte extension autour des noyaux existants → coalescence urbaine, étalement diffus) ; **CJ / CJP** (poursuite de la chute → raréfaction des systèmes de jachère) ; **FSM / SASA** (fragmentation accrue → transformation en mosaïques agricoles) ; **PE / PFo** (extension modérée → spécialisation agricole commerciale) ; **SED** (légère augmentation → signe de dégradation des sols localisée).

❖ **Lecture environnementale**

Artificialisation avancée ; Forte pression foncière ; Perte de biodiversité ; Risque hydrologique accru (ruissellement, inondations) ; Paysage dominé par l'anthropisation.

En 2060, le territoire devient majoritairement anthropisé, avec des reliques écologiques très fragmentées.

Scénario 2 : Horizon 2090 (scénario critique), hypothèse de poursuite non contrôlée des tendances actuelles.

❖ **Dynamiques projetées**

HAB (devient la classe dominante → conurbation continue) ; **CJ / CJP** (deviennent marginales → disparition des systèmes agricoles traditionnels) ; **FSM / SASA** (quasi résiduelles → écologie relictuelle) ; **SED** (augmente → dégradation écologique généralisée) ; **PE / PFo** (stagnent ou régressent → pression urbaine > pression agricole).

❖ **Lecture environnementale**

Paysage très artificialisé ; Stress hydrique accentué ; Forte vulnérabilité climatique ; Dégradation des services écosystémiques ; Dépendance alimentaire accrue.

En 2090, le territoire entre dans une phase de saturation écologique, avec un paysage largement urbanisé et écologiquement appauvri.

Tableau VIII : Comparaison synthétique des scénarios

Classe	2025	2060 (tendance)	2090 (critique)
HAB	Forte	Très forte	Dominante
CJ	Moyenne	Faible	Résiduelle
CJP	Moyenne	Faible	Résiduelle
FSM	Moyenne	Fragmentée	Très rare
SASA	Moyenne	Faible	Résiduelle
PE	En hausse	Stable / hausse	Stable
SED	Faible	En hausse	Problématique

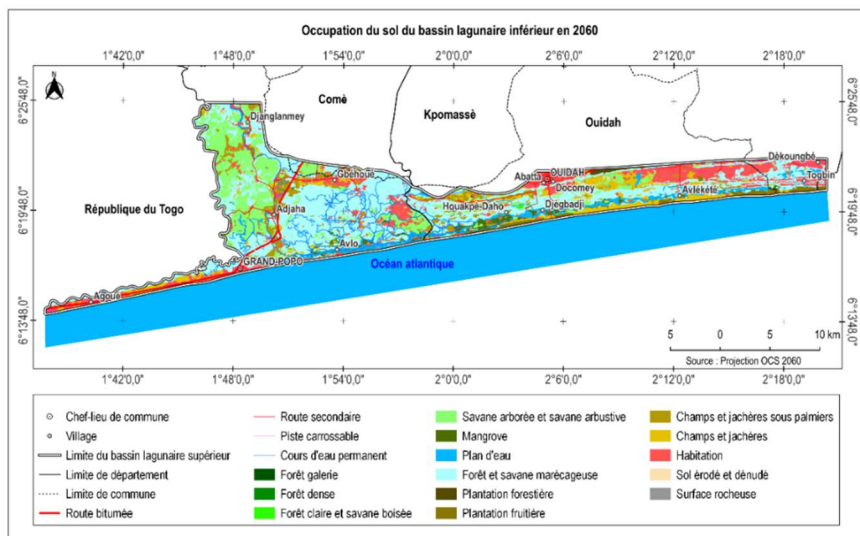
Source : Traitement d'images satellitaires et travaux de terrain (Gbaï, 2025)

❖ **Formulation scientifique prête à insérer dans un mémoire**

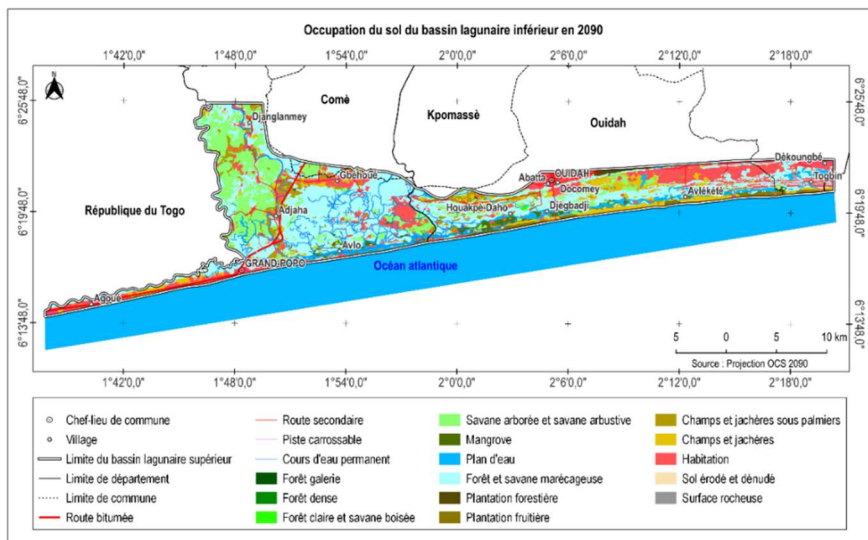
Les projections issues du modèle CA–Markov aux horizons 2060 et 2090 suggèrent une poursuite marquée de l'artificialisation du territoire. Le scénario tendanciel à l'horizon 2060 met en évidence une extension significative des surfaces bâties au détriment des

terres agricoles et des formations naturelles. À l'horizon 2090, la dynamique projetée conduit à une domination quasi-totale des espaces urbanisés, accompagnée d'une fragmentation extrême des milieux naturels et d'une dégradation avancée des services écosystémiques, traduisant une trajectoire d'insoutenabilité environnementale.

Figure 3 : Simulation de l'évolution des dix types d'occupation du sol dans deux scénarios futurs.



(a) Dynamique observée durant les périodes 1995-2015



(b) Dynamique observée durant les périodes 1995-2025

3.6. Discussion

A partir des changements observés dans le couvert végétal sur une période donnée, des informations scientifiques utiles à l'analyse du niveau de variation des écosystèmes et de la fragmentation. La présente recherche a analysé la dynamique passée de l'occupation du sol entre 1995 et 2015 et à établir des scénarii futurs pour les écosystèmes dans la zone lagunaire du site Ramsar 1017. Des changements considérables ont été observés entre 1995 et 2015 avec une augmentation de la superficie de tous les types d'occupation du sol à l'exception des forêts claires et savanes, de l'eau, de la plage et des agglomérations. En ce qui concerne les mangroves, leurs superficies ont connu une légère augmentation. La simulation des changements à l'horizon 2050 des changements des types d'occupation du sol.

Les analyses diachroniques des matrices et des courbes d'évolution des classes d'occupation du sol révèlent une transformation rapide du paysage étudié. Entre 1995 et 2025 :

Les zones urbaines (HAB) ont connu une croissance significative, passant de 1 612 km² à 4 895 km², traduisant une urbanisation accélérée et une extension périurbaine autour des pôles économiques. Les formations naturelles (FSM, SASA, FCSB, FGR) montrent une régression progressive et une fragmentation croissante, signe de pression anthropique accrue, de déforestation et de pâturage extensif. Les terres agricoles traditionnelles (CJ, CJP) ont subi une conversion vers l'habitat et les plantations commerciales (PE, PFo), reflétant une spécialisation agricole et un déplacement des pratiques traditionnelles vers des systèmes intensifs.

Les matrices de transition mettent en évidence des flux majeurs : CJ → HAB ; CJP → HAB ; SASA → CJ / PE / HAB ; FSM → SASA / PE. Ces flux illustrent la dynamique combinée d'urbanisation, d'intensification agricole et de dégradation écologique. Les résultats des interprétations socio-environnementale des tendances observées, montrent que les transformations de l'occupation du sol sont liées à plusieurs facteurs :

- Pressions anthropiques: l'urbanisation suit les axes de transport et les noyaux urbains principaux, en accord avec Amoussou et Totin (2015) et Hounnga et *al.* (2016), qui notent que la croissance des habitats modifie le ruissellement et augmente la vulnérabilité aux inondations.
- Mutations agricoles : la conversion des terres agricoles traditionnelles vers des plantations commerciales reflète une logique économique orientée vers le marché (Avakoudjo et *al.*, 2014; Cabral & Costa, 2017).
- Contraintes écologiques: les zones naturelles les plus stables sont souvent localisées dans des secteurs physiquement moins accessibles (pentes, sols pauvres), mais leur fragmentation

continue est préoccupante (Clerici et *al.*, 2007; Tapia-Armijos et *al.*, 2015).

Les projections basées sur le modèle CA–Markov suggèrent une accentuation des tendances observées :

- 2060 (scénario tendanciel): forte extension des surfaces bâties, fragmentation accrue des formations naturelles, expansion modérée des plantations commerciales. Le paysage reste dominé par une mosaïque d'usages anthropiques et de reliques écologiques.
- 2090 (scénario critique): l'habitat devient la classe dominante, les formations naturelles sont résiduelles et les terres agricoles traditionnelles marginales. Le territoire connaît une saturation anthropique, avec des implications importantes pour la biodiversité, la sécurité alimentaire et la résilience aux aléas climatiques.

Ces projections confirment que sans mesures de régulation et de conservation, le paysage deviendra largement artificialisé, conformément aux tendances observées dans d'autres contextes ouest-africains (Hounto et *al.*, 2019 ; Padonou et *al.*, 2017).

La comparaison avec les études précédentes montre qu'en terme d'urbanisation et d'artificialisation, la croissance rapide de l'habitat est en accord avec les observations d'Amoussou et Totin (2015), Avakoudjo et *al.* (2014), et Padonou et *al.* (2017), qui relèvent une pression anthropique similaire sur les paysages périurbains au Bénin.

La fragmentation écologique montre que la régression et la fragmentation des forêts et savanes correspondent aux constats de Clerici et *al.* (2007), Tapia-Armijos et *al.* (2015), et Schulz et *al.* (2010), confirmant l'effet global de la déforestation et de l'artificialisation sur la biodiversité.

La transformation agricole fait état d'une diminution des systèmes agricoles traditionnels au profit de plantations commerciales rejoint les résultats de Cabral & Costa (2017) et Kanianska et al. (2014), qui montrent que la spécialisation agricole modifie la structure des paysages ruraux. Les impacts socio-environnementaux les changements observés sont cohérents avec Hounga et al. (2016) et Vaschalde (2014), qui soulignent que la perte de surfaces naturelles et agricoles peut compromettre les services écosystémiques et accroître la vulnérabilité aux risques climatiques.

Les implications pour la gestion territoriale portent sur la discussion intégrée des résultats passés et prospectifs, mettant en évidence plusieurs points clés pour la planification et la conservation. L'urbanisation maîtrisée implique la nécessité d'un contrôle rigoureux de l'expansion urbaine pour limiter la consommation des terres agricoles et naturelles. La conservation des milieux naturels donne lieu à la création de zones protégées, corridors écologiques et restauration des formations dégradées. L'agriculture durable nécessite la préservation des terres agricoles productives, encouragement de pratiques moins destructrices et adaptation aux changements socio-économiques. La surveillance et planification spatiale nécessite un suivi régulier via le SIG et la télédétection pour anticiper les conversions et ajuster les politiques foncières et environnementales.

3.7. Conclusion

Cette recherche a étudié comment les sols et les zones où l'on peut construire vont changer dans la zone Ramsar 1017, maintenant et dans le futur. Entre 1995 et 2015, les surfaces de toutes les zones ont augmenté, sauf les forêts claires et savanes, les zones d'eau, de plage et les villes. Les mangroves sont un peu plus grandes. La simulation montre que les forêts, les savanes, les zones humides et les agglomérations vont diminuer et les prairies, les fourrés, les mangroves et les champs vont augmenter.

L'analyse des changements du territoire entre 1995 et 2025 et les prévisions pour 2060-2090 montrent que le territoire s'urbanise rapidement, ce qui fragmente la nature et transforme les zones agricoles. Ces tendances sont les mêmes que celles observées en Afrique de l'Ouest et dans d'autres régions tropicales. Les prévisions montrent qu'il faut absolument des plans pour l'urbanisme, la protection de l'environnement et la gestion durable des terres. Cela permettra de protéger à la fois l'environnement et la société.

Si on ne fait rien, les forêts et savanes pourraient disparaître. Ces résultats servent à mettre en place des stratégies efficaces pour protéger la biodiversité. Si on planifie bien, on pourra mieux protéger la biodiversité dans cette zone.

3.8. Références

Amoussou E. Et V. S. H. Totin, "Caractérisation hydrologique des forêts de Naglanou (Bénin) et d'Akissa (Togo) pour la gestion des risques d'inondations dans la le delta du Mono", Rapport du Projet Réserve de Biosphère Transfrontalière du Delta du Mono (2015), 56 p.

Amoussou K.G., "Constitution d'une base de données biologiques, éco-éthologiques et socioéconomiques sur les groupes d'hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) isolés dans les terroirs villageois en zones humides : Cas du département du Mono/Couffo au Bénin", Diplôme d'Ingénieur Agronome, Université d'Abomey-Calavi, faculté des sciences agronomiques (2002), 135 p.

Avakoudjo J., A. Mama, I. Toko, V. Kindomihou et B. Sinsin, "Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin" Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(6) (2014.) 2608-2625.

Cabral A.I.R., Costa F.L. 2017. Land cover changes and landscape pattern dynamics in Senegal and Guinea Bissau borderland. Applied Geography 82: 115-128.

Çınlar E. 1975. Exceptional paper ÇMarkov renewal theory: A survey. Manage. Sci. 21 (7), 727-752.

Clerici, N., Bodini, A., Eva, H., Grégoire, J.-M., Dulieu, D., Paolini, C., 2007. Increased isolation of two Biosphere Reserves and surrounding protected areas (WAP ecological complex, West Africa). J. Nat. Conserv. 15, 26–40.

Hounga A., A. M. Tito, A. Ahonnon, P. Soede, "Impacts socio-économiques et environnementaux des inondations sur le développement de la commune d'Athiémé (Bénin)", Revue Échanges, 3(007) (2016), 727-740

Hounto G., Mouzoun S., Yabi I. 2019. Implications socio-environnementales de la dynamique d'occupation du sol des zones humides du site RAMSAR 1017, Sud-Ouest du Bénin. Afrique Science 15(4) : 317-329.

INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique) 2015. "RGPH4 : Que retenir des effectifs de population en 2013 ?", Direction des recherches démographiques, Cotonou, Bénin 33 p.

INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique) 2016. Effectif de la population des villages et quartiers de villes du Bénin. RGPH 4, République du Bénin.

Kanianska, R., Kizeková, M., Nováček, J., Zeman, M., 2014. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: a case study of Slovakia from 1782 to 2006. Land Use Policy 36, 554–566.

Padonou E.A., Lykke A.M., Bachmann Y., Idohou R. and Sinsin B. 2017. Mapping changes in land use/land cover and prediction of future extension of bowé in Benin, West Africa; Land Use Policy 69: 85-92.

Qingqing, Z., Hailiang, X., Jingyi, F., Pujia, Y., Peng, Z., 2012. Spatial analysis of land seand land cover changes in recent 30

years in manas river basin. *Procedia Environ. Sci.* 12, 906–916 (Part B).

Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., Benayas, J. M. R. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30(3), 436–447

Tapia-Armijos, M.F., Homeier, J., Espinosa, C.I., Leuschner C., De La Cruz M., 2015. Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s – losing a hotspot of biodiversity. *PLoS ONE* 10(9): e0133701. doi:10.1371/journal.pone.0133701.

Vaschalde D., "Services écologiques rendus par les zones humides en matière d'adaptation au changement climatique : Etat des lieux des connaissances et évaluation économique", Rapport technique (2014), 77 p.

Verburg, P.H., Neumann, K., Nol, L., 2011. Challenges in using land use and land cover data for global change studies. *Global Change Biol.* 17, 974–989.

Verburg, P.H., van de Steeg, J., Veldkamp, A., Willemen, L., 2009. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. *J. Environ. Manage.* 90, 1327–1335.

Vogt, J.V., Safriel, U., Von Maltitz, G., Sokona, Y., Zougmore, R., Bastin, G., Hill, J., 2011. Monitoring and assessment of land degradation and desertification: towards new conceptual and integrated approaches. *Land Degrad. Dev.* 22, 150–165.

Yu, L., Lu, J., 2011. Does landscape fragmentation influence sex ratio of dioecious plants? A case study of *Pistacia chinensis* in the Thousand-Island Lake region of China. *PLoS One* 6, e22903.