



Dynamiques spatio-temporelles, pressions anthropiques et modélisation prospective à l'horizon 2050 des écosystèmes du Site Ramsar 1017 (2005-2024)

Marius Hugues Mavo Degla^{1*}, Etienne M. Dossou², Abdel Aziz Osseni³, G. Laurent HOUSSOU⁴, O. Toussaint Loubegnon⁵

⁽¹⁾Université Nationale d'Agriculture. Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE). BP 43 Kétou (Bénin). E-mail : hugdegla@gmail.com

⁽²⁾Université d'Abomey-Calavi. Faculté des Sciences Humaines et Sociales. Département de Géographie et Aménagement du Territoire. 01BP 526 Cotonou, (Bénin)

⁽³⁾Université Nationale d'Agriculture. École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts. Unité de Recherche Horticole et d'Aménagement des Espaces Verts. Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières. BP 43, Kétou (Bénin)

⁽⁴⁾ Université de Parakou. Laboratoire d'Écologie de Botanique et de Biologie Végétale, Faculté d'Agronomie. BP 123, Parakou (Bénin)

⁽⁵⁾Université Nationale d'Agriculture. Ecole de Foresterie Tropicale. BP 43 Kétou (Bénin)

Reçu le 07 août 2026, accepté le 15 septembre 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.24>

RESUME

Description du sujet. Le Site Ramsar 1017 (Bénin) est un écosystème tropical majeur combinant mangroves, forêts et plans d'eau. Essentiels à la régulation hydrologique, ces milieux subissent une forte pression liée à l'agriculture et à l'urbanisation.

Objectif. Cette étude analyse l'évolution de l'occupation du sol de 2005 à 2024 afin de modéliser ses trajectoires futures à l'horizon 2050 pour orienter sa gestion durable.

Méthodes. La méthodologie combine la classification supervisée d'images satellites SPOT (2005, 2015) et Bing (2024) à des enquêtes de terrain pour quantifier les changements et simuler les dynamiques futures.

Résultats. Les formations naturelles reculent fortement : les forêts et savanes marécageuses diminuent de 11,39 %, les savanes arborées de 37,62 % et les forêts-galeries de 24,34 %. Inversement, l'anthropisation explose avec une hausse des cultures de 57,17 % et des habitats de 99,27 %. La mangrove progresse de 39,96 % grâce aux reboisements.

Conclusion. La modélisation à l'horizon 2050 prévoit la poursuite de l'étalement bâti au détriment des îlots naturels. Cette fragilisation écologique impose de renforcer d'urgence la planification territoriale et la gestion intégrée de la zone.

Mots-clés : Dynamique spatio-temporelle, pression anthropique, télédétection, modélisation prospective, Site Ramsar 1017/Bénin.

ABSTRACT

Spatiotemporal dynamics, anthropogenic pressures, and forward-looking modeling up to 2050 of ecosystems in Ramsar Site 1017 (2005–2024)

Description of the subject. Ramsar Site 1017 (Benin) is a major tropical ecosystem combining mangroves, forests, and water bodies. Essential for hydrological regulation, these environments face heavy pressure driven by agriculture and urbanization.

Objective. This study analyzes land use and land cover (LULC) changes from 2005 to 2024 to model future trajectories up to 2050, aiming to guide sustainable management.

Methods. The methodology integrates supervised classification of SPOT (2005, 2015) and Bing (2024) satellite imagery with field surveys to quantify past transformations and simulate future dynamics.

Results. Natural vegetation has significantly declined: swamp forests and savannas decreased by 11.39%, wooded savannas by 37.62 %, and gallery forests by 24.34 %. Conversely, anthropization has boomed, with cropland increasing by 57.17 % and settlements growing by 99.27 %. Mangroves expanded by 39.96 % due to reforestation initiatives.

Conclusion. Predictive modeling for 2050 forecasts continued urban sprawl at the expense of remaining natural patches. This critical ecological vulnerability highlights the urgent need to strengthen regional planning and integrated management across the area.

Keywords: Spatiotemporal dynamics, Anthropogenic pressure, Remote sensing, Forward-looking modeling, Ramsar Site 1017 / Benin.

1. INTRODUCTION

Les zones humides tropicales et, en particulier, le complexe Site Ramsar 1017 (Basse Vallée du Couffo, lagune côtière, chenal Aho et lac Ahémé) occupent une position écologique cruciale à l'interface terre – eau. Elles combinent des mangroves, des prairies marécageuses, des savanes boisées, des lacs, des lagunes et des canaux, formant un réseau écologique complexe et d'une très grande richesse (Ramsar, 2019 ; ABE, 2024).

Ces milieux fournissent des services écosystémiques essentiels. Ils filtrent l'eau en retenant les sédiments et nutriments, ce qui améliore la qualité des eaux douces et saumâtres, bénéfique non seulement pour la biodiversité, mais aussi pour les communautés humaines riveraines (Golden *et al.*, 2022). Ils régulent le cycle hydrologique : en période de crue, ils peuvent stocker l'excès d'eau, et le restituer graduellement pendant les saisons sèches, ce qui contribue à modérer les inondations et à stabiliser les ressources en eau (ABE, 2023).

Le site Ramsar 1017 constitue un habitat fondamental pour une biodiversité remarquable : environ 233 espèces d'oiseaux, plus de 90 espèces de poissons, ainsi qu'un nombre important de plantes (364 espèces), de reptiles, de mammifères aquatiques, de tortues marines et d'autres taxons, dont plusieurs espèces menacées (Ramsar, 2019). Ces zones humides servent de nurseries et de refuges pour les poissons, crustacés, mollusques et oiseaux migrateurs, ce qui soutient la pêche, l'aquaculture traditionnelle et l'avifaune, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et aux moyens d'existence des populations locales (Ramsar, 2019; ABE, 2023).

Par ailleurs, les zones humides, notamment les mangroves côtières et marécageuses, jouent un rôle important dans la lutte contre le changement climatique, via le stockage de carbone dans la biomasse et les sols humifères. Ce potentiel de séquestration carbone est élevé et significatif à l'échelle régionale et mondiale (Hamilton & Friess, 2016).

Malgré ces fonctions vitales, le Site 1017 est soumis à de fortes pressions anthropiques : conversion des terres pour l'agriculture et l'aquaculture, exploitation du bois, pollution, aménagement côtier, surexploitation des ressources

naturelles, érosion côtière, etc. (Ramsar, 2019; ABE, 2023). Face à ces pressions, un effort de conservation, de restauration et de gestion durable s'impose. C'est dans ce cadre que la mise en œuvre de projets de restauration des écosystèmes, par exemple la replantation de palétuviers rouges (*Rhizophora racemosa*), de palétuviers noirs (*Avicennia germinans*) et d'autres espèces végétales adaptées aux abords du lac Ahémé, du chenal Aho, et de la lagune côtière, a été lancée par la FAO pour préserver le caractère écologique du site et ses services écosystémiques (FAO, 2025).

Dans ce contexte, l'analyse diachronique de l'occupation du sol sur le Site Ramsar 1017 apparaît comme une démarche scientifique et stratégique de première importance. En comparant des données spatiales issues de différentes périodes, il devient possible de mettre en évidence la dynamique d'évolution des paysages, d'identifier les tendances de dégradation ou de régénération des écosystèmes, ainsi que les principales trajectoires de conversion des terres, qu'il s'agisse de la transformation des zones humides naturelles en espaces agricoles, en zones bâties ou en plans d'eau artificiels.

Cette approche spatio-temporelle offre une lecture approfondie de l'ampleur et du rythme des changements ayant affecté le fonctionnement écologique du site. Elle permet notamment de localiser les zones les plus vulnérables face aux pressions anthropiques et climatiques, de repérer les noyaux de conservation encore fonctionnels et de cibler les secteurs prioritaires pour la restauration écologique.

L'intégration des résultats d'une telle analyse dans les processus de planification environnementale constitue ainsi un levier majeur pour orienter des stratégies de gestion durable adaptées, anticiper les évolutions futures du territoire et renforcer la résilience écologique et socio-économique des populations riveraines fortement dépendantes des services écosystémiques fournis par les zones humides.

L'objectif de cette recherche est d'analyser l'évolution de l'occupation du sol de 2005 à 2024 afin de modéliser ses trajectoires futures à l'horizon 2050 pour orienter sa gestion durable. L'intérêt de cette étude réside dans sa capacité à fournir une

base scientifique solide pour la compréhension et l'anticipation des dynamiques des écosystèmes de zones humides du Site Ramsar 1017.

En combinant une analyse diachronique de l'occupation du sol (2005–2024) avec une modélisation prospective à l'horizon 2050, elle permet à la fois de quantifier l'ampleur et la distribution spatiale des transformations en cours, et d'identifier les principaux facteurs anthropiques qui les déterminent. Cette approche intégrée constitue un outil d'aide à la décision en mettant en évidence les trajectoires d'évolution probables, les zones à fort risque de dégradation ainsi que les noyaux de résilience écologique. Les résultats contribuent ainsi à améliorer la planification environnementale et à orienter des stratégies de conservation et de restauration ciblées et fondées sur des données probantes, tout en renforçant la résilience des socio-écosystèmes face aux pressions anthropiques et climatiques croissantes.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

Le Site Ramsar 1017 (6°11'–7°35' N ; 1°27'–2°21' E) couvre 524 289 ha dans le sud-ouest du Bénin et

englobe 20 communes à travers quatre départements. Il regroupe trois sous-bassins versants reliant milieux marins, lagunaires, fluviaux et terrestres, organisés autour du Mono, du Couffo et du complexe lacustre Ahémé-Aho. Ses paysages comprennent les savanes, les forêts relictuelles, les mangroves, les cordons littoraux, les lagunes et les plateaux ferrallitiques. Le site abrite une biodiversité riche, mais subit une forte pression anthropique (agriculture, urbanisation et exploitation des ressources) et les effets du changement climatique. Il constitue également un espace culturel majeur marqué par de nombreuses pratiques traditionnelles et culturelles.

Le site bénéficie d'un climat subéquatorial chaud et humide, avec quatre saisons (deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses) et une pluviométrie plus élevée au sud (~1346 mm/an) qu'au nord (~1126 mm/an). Les sols, principalement ferrallitiques, ferrugineux, vertisols et hydromorphes, sont fortement dégradés, plus de 60 % présentant une faible fertilité. La population issue d'anciennes et récentes migrations connaît une forte croissance démographique, entraînant une forte pression sur les terres et les ressources naturelles (Figure 1).

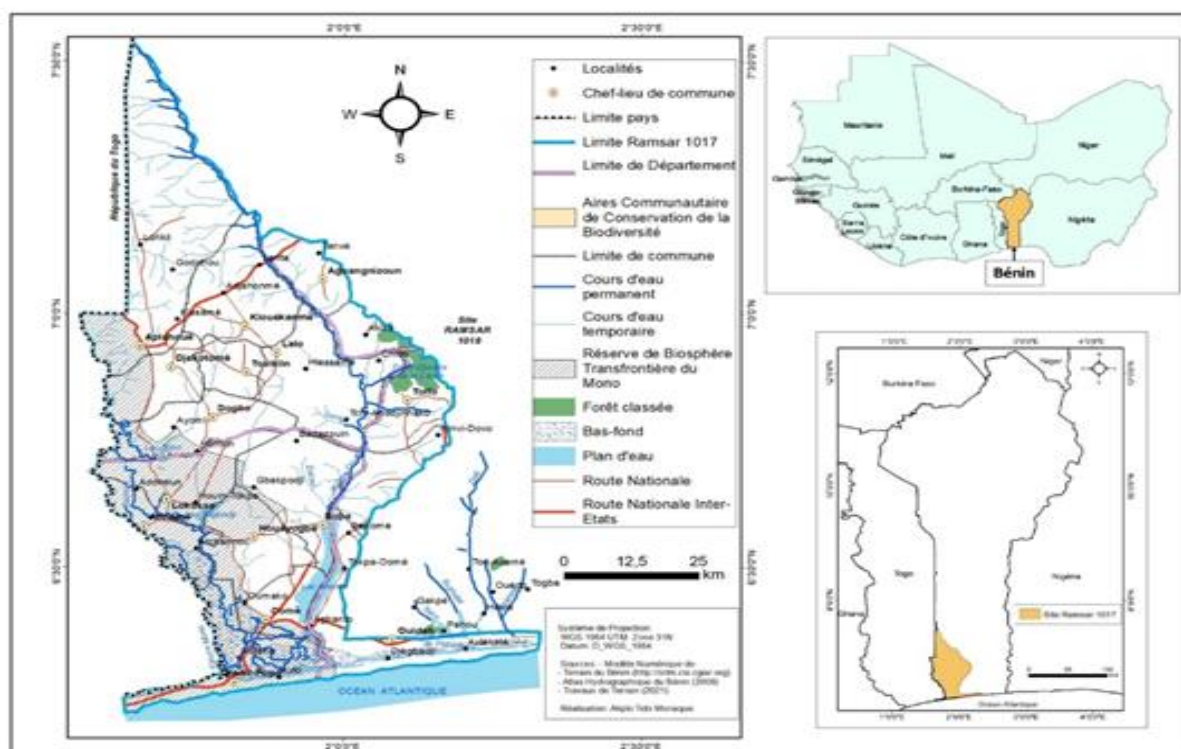


Figure 1. Carte de situation géographique du site Ramsar 1017

2.2. Méthodes

Données

L'étude s'appuie sur un ensemble intégré de données spatiales, socio-économiques et environnementales permettant une caractérisation robuste du site Ramsar 1017. Les feuilles topographiques au 1/50 000 ont servi à

la géolocalisation du secteur, tandis que des images multispectrales haute résolution (SPOT 2005/2015 et Bing 2024) ont fourni la base de l'analyse diachronique. Ces données ont été complétées par des enquêtes terrain réalisées en 2025, indispensables à la validation des unités d'occupation du sol et à la construction des jeux de données d'entrée du Land Change Modeler (LCM).

Nomenclature nationale de l'occupation du sol

La classification utilisée reprend les standards nationaux établis dans les projets Forêt Galerie et OSFACO. Elle différencie 15 classes couvrant l'ensemble des formations végétales, des zones anthropisées et des structures hydrographiques (Tableau 1). Cette nomenclature fine assure la comparabilité temporelle et la cohérence écologique des analyses.

Tableau 1. Nomenclature de travail

Id	LC_Cd	Occupation du sol et utilisation des terres
1	FD	Forêt dense (forêt dense humide semi-décidue et forêt dense sèche)
2	FCSB	Forêt claire et savane boisée
3	SASa	Savanes arborée et arbustive
4	FSM	Forêt et savane marécageuse
5	FGFR	Forêt galerie et Formation ripicole
6	MG	Mangrove
7	PTFR	Plantation forestière
8	CJ	Culture et jachère
9	CJP	Culture et jachère sous palmier à huile
10	PTFT	Plantation fruitière
11	PE	Plan d'eau
12	HA	Agglomération
13	SR	Surface rocheuse ou cuirassée
14	SS	Surface sableuse (Plage)
15	SED	Sol érodé, dénudé

Interprétation des images

L'interprétation visuelle, effectuée en fausse couleur infrarouge, a permis la digitalisation des entités homogènes avec forte précision thématique. Le millésime 2024 a servi de référence pour rétro-interpréter les images de 2005, 2015 et 2024, garantissant la constance des critères de classification. La méthodologie repose sur la classification supervisée des images satellites SPOT (2005, 2015) et Bing (2024), complétée par des enquêtes de terrain destinées à la collecte de données de validation. Les données issues de ces traitements ont été combinées pour apprécier le taux de conversion et les changements futurs des différentes classes d'occupation du sol.

Suivi et contrôle qualité

La qualité de l'interprétation a été contrôlée suivant trois niveaux : validation visuelle à l'écran, positionnement de points de contrôle sur les couches produites, et comparaison inter-cartes. Ce protocole réduit significativement les risques d'erreurs de classification.

Contrôle et complément terrain

Le contrôle terrain, basé sur 20 points par classe, soit un total de 300 points, a permis d'ajuster les limites spatiales, d'affiner la toponymie et de corriger d'éventuelles confusions spectrales. Ces

vérifications renforcent la fiabilité de l'information cartographique.

Évaluation de précision thématique

La confrontation des cartes aux observations de terrain assure la quantification des erreurs d'omission et de commission, permettant d'estimer la précision utilisateur et la pertinence de chaque classe dans la réalité écologique locale.

Édition cartographique

Les cartes finales ont été normalisées selon un modèle d'édition comprenant le cadre, la légende, l'orientation, les sources et les logos. Une harmonisation des trames et des couleurs a permis d'optimiser la lisibilité et facilite la comparaison entre les dates.

Analyse de la dynamique d'occupation du sol

Les matrices de conversion générées via ArcGIS (Tabulate Area) ont permis d'identifier les transitions entre classes, les zones de stabilité, les pertes/gains et les tendances de long terme. L'analyse distingue trois dimensions : évolution temporelle, redistributions spatiales, et dynamique forestière (dégradation, déforestation, reconstitution et reboisement). La méthode met en évidence les trajectoires de transformation écologique du site entre 2005, 2015 et 2024. Pour l'analyse statistique des changements observés dans l'occupation du sol,

les paramètres suivants ont été estimés. L'équation simple à utiliser pour la dynamique entre deux dates est :

- **Taux d'évolution des classes d'occupation du sol**

$$Tg = (S_2 - S_1 / S_1) \times 100$$

avec Tg : Taux d'évolution de la classe, S_1 : Superficie de l'unité d'occupation du sol à l'année 1 ; S_2 : Superficie de l'unité d'occupation du sol à l'année 2.

Ainsi si $S_2 - S_1$ = négatif, on conclura une régression relative à l'unité de l'année 1 à l'année 2. Si $S_2 - S_1$ = positif on parlera d'une augmentation de la superficie de cette classe de l'année 1 à l'année 2 et au cas où $S_2 - S_1$ = nul, on parle de stabilité.

- **Taux annuel d'expansion spatiale des classes d'occupation du sol**

$$T = (\ln S_2 - \ln S_1) / (t_2 - t_1) \times \ln e \times 100$$

S_1 : la superficie occupée par une classe en année 1 ; S_2 : la superficie occupée par la même classe en année 2 ; $\ln$, le logarithme népérien. Ce taux

informe sur la quantité de superficie perdu annuellement par une classe d'occupation donnée.

Modélisation à l'horizon 2050

La simulation a mobilisé des images corrigées et reclassifiées, intégrées dans le logiciel Land Change Modeler avec une classification Random Forest. Le module de modélisation a été utilisé pour le calibrage des variables explicatives (accessibilité, physiographie et pression anthropique) à travers un modèle en chaîne de Markov. Par ailleurs, le plugin Semi-Automatic Classification Plugin de QGIS a servi à la validation des classifications ainsi qu'au calcul de l'indice de Kappa. Deux scénarios ont été explorés, mais le scénario de « conservation stricte » a été retenu pour la projection finale. La validation croisée, la comparaison des prédictions et les ajustements successifs garantissent une modélisation robuste utile pour la planification écologique, la gestion des mangroves et la conservation du site Ramsar 1017.

3. RESULTATS

3.1. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de 2005 à 2015

En 2005, l'occupation du sol du site Ramsar 1017 était principalement dominée par les cultures et jachères sous palmier (34,86 %), les cultures et jachères simples (24,72 %). Les forêts et savanes marécageuses couvraient 12,17 % du site, tandis que les habitats représentaient 6,97 % et les plans d'eau constituaient 5,78 %. Le reste de la superficie (15,5 %) était occupé par les autres formations forestières et savanicoles.

La classification des images satellitaires a été validée à l'aide de la matrice de confusion, de l'indice de kappa, garantissant ainsi la fiabilité des résultats obtenus. Les précisions globales de classification sont respectivement de 89,7 % pour l'année 2005 et de 84,5 % pour l'année 2015. Les indices de kappa atteignent 0,87 en 2005 et 0,81 en 2015, traduisant un excellent niveau de concordance entre les classes cartographiques et les données de référence.

De 2005 à 2015, les écosystèmes naturels ont connu une diminution généralisée. La forêt et savane marécageuse ont reculé de 1,34 % (12,17 % à 10,83 %). Les savanes arborées et arbustives ont également connu une forte diminution, passant de 4,23 % à 3,09 %, tandis que les forêts claires et savanes boisées ont légèrement baissé de 1,32 % à 1,24 %. La forêt dense a diminué de 0,31 % à 0,26 % et les forêts galeries et formations ripicoles de 0,81 % à 0,78 %. La plus forte baisse concerne les cultures et jachères sous palmier à huile, dont la proportion est passée de 34,86 % à 19,50 % (Tableau 2).

À l'inverse, les unités anthropiques ont connu une forte expansion. Les cultures et jachères sont passées de 24,72 % à 37,44 %, devenant la principale occupation du sol du site. L'habitat a progressé également de manière importante, de 6,97 % à 12,71 %, traduisant une urbanisation accélérée en périphérie et à l'intérieur du site Ramsar. Les plantations forestières ont enregistré une légère hausse de 3,21 % à 3,34 %, toute la mangrove a évolué de 0,09 % à 0,10 %. Les plans d'eau sont demeurés relativement stables, passant de 5,78 % à 5,86 %, de même que les sols érodés et dénudés ainsi que les surfaces sableuses qui ont connu seulement de faible augmentation.

Dans l'ensemble, la dynamique spatiale du site Ramsar 1017 se caractérise par une conversion progressive des écosystèmes naturels et marécageux en espaces agricoles et en zones d'habitation, sous l'effet conjugué de la croissance démographique, de l'intensification des activités agricoles et de l'étalement urbain, ce qui constitue une menace majeure pour la conservation de la biodiversité et le maintien des services écosystémiques du site. Les figures 2 et 3 illustrent la dynamique d'occupation du sol de 2005 à 2015.

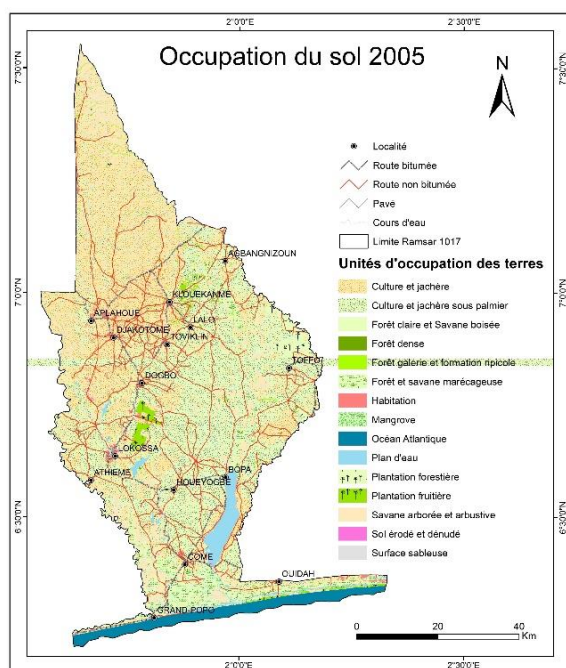


Figure 2 : Occupation du sol du site Ramsar 1017 en 2005

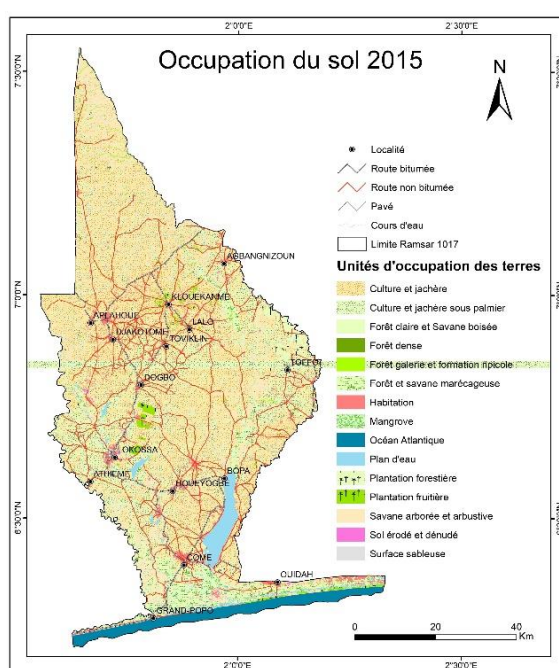


Figure 3 : Occupation du sol du site Ramsar 1017 en 2015

Tableau 2 : Unités d'occupation du sol de 2005 à 2015

Unité d'occupation du sol	Superficie 2005 (km ²)	Proportion (%)	Superficie 2015 (km ²)	Proportion (%)	Différence (km ²)	Tendance
Forêt dense	16,20	0,31	13,66	0,26	-2,54	Régression
Forêt galerie et formation ripicole	42,24	0,81	40,96	0,78	-1,28	Régression
Forêt claire et savane boisée	69,21	1,32	64,90	1,24	-4,31	Régression
Savane arborée et arbustive	222,07	4,24	162,03	3,09	-60,04	Régression
Forêt et savane marécageuse	638,20	12,17	568,19	10,83	-70,01	Régression
Mangrove	4,63	0,01	4,72	0,03	+1,42	Progression
Plantation forestière	168,35	3,21	175,00	3,34	+6,65	Progression
Plantation fruitière	289,44	5,52	252,85	4,82	-36,59	Régression
Culture et jachère	1296,45	24,72	1963,34	37,44	+666,89	Progression
Culture/jachère sous palmier	1827,89	34,86	1022,58	19,50	-805,31	Régression
Plan d'eau	303,06	5,78	307,27	5,86	+4,21	Progression
Habitat	365,70	6,97	666,41	12,71	+300,71	Progression
Sol érodé et dénudé	0,71	0,01	0,74	0,01	+0,03	Progression
Surface sableuse	3,78	0,07	3,97	0,08	+0,19	Progression
TOTAL	5 242,89	100	5 242,89	100	—	—

3.2. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de 2015 à 2024

L'analyse diachronique de l'occupation du sol du site Ramsar 1017 entre 2015 et 2024 met en évidence plusieurs classes majeures d'occupation du sol dominées par les cultures et jachères sous palmier à huile, les formations marécageuses, l'habitat, les plantations fruitières ainsi que les plans d'eau. Les formations naturelles comprennent également les forêts denses, les forêts galeries et formations ripicoles, les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées et arbustives, les mangroves et les formations marécageuses. Les occupations anthropiques regroupent principalement les cultures, les plantations, l'habitat et les surfaces dénudées.

La fiabilité des classifications obtenues à partir des images satellitaires a été vérifiée à l'aide d'une matrice de confusion, complétée par l'indice de Kappa. Les résultats de validation montrent une bonne précision globale (84,50 % en 2015 et 92,80 % en 2024) des classifications avec des valeurs satisfaisantes de l'indice de Kappa (0,81 en 2015 et 0,89 en 2024), traduisant une forte concordance entre les classes cartographiées et les données de référence. Par ailleurs, les gains, pertes et persistances des différentes unités d'occupation du sol ont été ressortis tout en identifiant les principales conversions intervenues entre 2015 et 2024.

L'analyse comparative des superficies exprimées en pourcentage révèle deux tendances majeures : une régression des formations naturelles et une progression des occupations anthropiques. Les formations forestières et savaniques enregistrent globalement des diminutions. La forêt dense passe ainsi de 0,26 % de la superficie totale en 2015 à 0,25 % en 2024, soit une perte de 0,73 km². Les forêts galeries et formations ripicoles régressent de 0,78 % à 0,61 %, correspondant à une diminution de 8,98 km². Les forêts claires et savanes boisées connaissent une légère baisse de 1,24 % à 1,23 % (-0,40 km²). De même, les savanes arborées et arbustives diminuent de 3,09 % à 2,64 %, soit une perte de 23,49 km². Les forêts et savanes marécageuses passent de 10,83 % à 10,79 %, traduisant une réduction de 2,34 km².

Les cultures et jachères sous palmier à huile présentent la régression la plus importante, passant de 19,50 % à 16,75 % de la superficie totale, soit une perte de 144,07 km². Les plans d'eau enregistrent une diminution très faible, de 5,86 % à 5,85 % (-0,40 km²).

À l'inverse, certaines classes connaissent une dynamique progressive. La mangrove reste relativement stable en proportion (0,03 %), mais affiche une légère augmentation spatiale. Les plantations forestières progressent de 3,34 % à 3,42 % (+4,59 km²), tandis que les plantations fruitières augmentent significativement de 4,82 % à 5,56 %, soit un gain de 38,88 km². Les cultures et jachères, qui constituent la principale unité d'occupation du sol, passent de 37,44 % à 38,86 %, enregistrant une augmentation de 74,44 km². L'habitat connaît également une forte progression de 12,71 % à 13,90 %, correspondant à un gain de 62,27 km², ce qui traduit l'expansion des zones urbaines et villageoises dans le site Ramsar 1017. Enfin, les sols érodés ou dénudés ainsi que les surfaces sableuses enregistrent de faibles hausses (Tableau 3).

Dans l'ensemble, les résultats mettent en évidence une transformation progressive du paysage marquée par le recul des écosystèmes naturels au profit des occupations anthropiques, notamment l'agriculture et l'habitat. Les figures 4 et 5 illustrent la dynamique d'occupation du sol de 2015 à 2024.

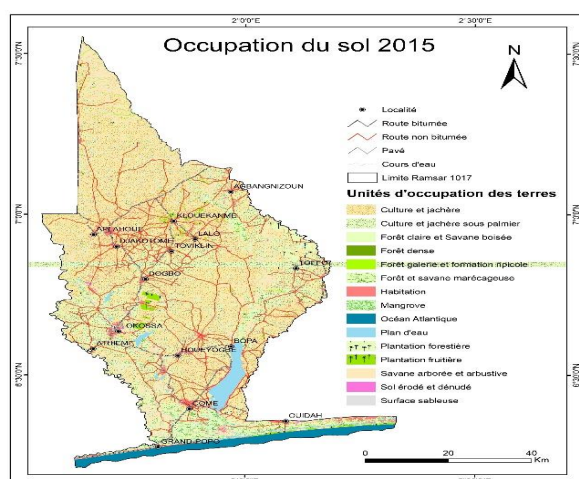


Figure 4 : Occupation du sol du site Ramsar 1017 en 2015

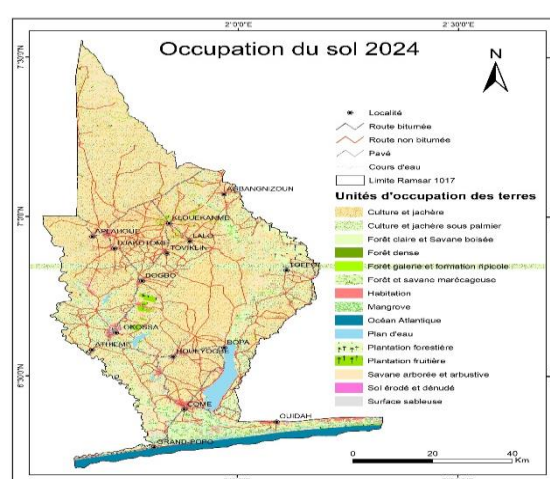


Figure 5 : Occupation du sol du site Ramsar 1017 en 2024

Tableau 3 : Unités d'occupation du sol de 2015 à 2024

Unité d'occupation du sol	Superficie 2015 (km ²)	Proportion (%)	Superficie 2024 (km ²)	Proportion (%)	Différence (km ²)	Évolution
Forêt dense	13,66	0,26	12,93	0,25	-0,73	Régression
Forêt galerie et formation ripicole	40,94	0,78	31,96	0,61	-8,98	Régression
Forêt claire et savane boisée	64,90	1,24	64,50	1,23	-0,40	Régression
Savane arborée et arbustive	162,02	3,09	138,53	2,64	-23,49	Régression
Forêt et savane marécageuse	567,85	10,83	565,51	10,79	-2,34	Régression
Mangrove	4,72	0,03	6,48	0,03	+0,10	Progression
Plantation forestière	174,93	3,34	179,52	3,42	+4,59	Progression
Plantation fruitière	252,82	4,82	291,70	5,56	+38,88	Progression
Culture et jachère	1963,14	37,44	2037,58	38,86	+74,44	Progression
Culture et jachère sous palmier à huile	1022,52	19,50	878,45	16,75	-144,07	Régression
Plan d'eau	307,23	5,86	306,83	5,85	-0,40	Régression
Habitat	666,46	12,71	728,73	13,90	+62,27	Progression
Sol érodé, dénudé	0,74	0,01	1,06	0,02	+0,32	Progression
Surface sableuse	3,97	0,08	4,01	0,08	+0,04	Progression
TOTAL	5242,89	100,00	5242,89	100,00	—	—

3.3. Modélisation de la dynamique future du site Ramsar 1017

Les probabilités de transition déduites à partir des cartes d'occupation du sol de 2015 et 2024 ont permis d'obtenir l'état probable de l'occupation du sol du site Ramsar 1017 à l'horizon 2050. Le tableau 4 présente la modélisation des unités d'occupation du sol à l'horizon 2050.

Globalement, en 2050, la physionomie du site Ramsar 1017 sera probablement dominée par les formations anthropiques, au détriment des formations naturelles. La superficie des formations naturelles (forêts, forêts galeries et ripicoles, forêts claires et savanes boisées, forêts et savanes marécageuses ainsi que les savanes arborées et arbustives) passera d'environ 818,5 km² en 2024 à 710,6 km² en 2050.

Plus spécifiquement, les cultures et jachères ainsi que les plantations demeureront les unités d'occupation les plus importantes, suivies des habitats. Toutefois, il est important de signaler que la mangrove connaîtra une progression notable, si les actions de restauration et de conservation engagées depuis plusieurs années se poursuivent. Ainsi, sa superficie, estimée à 6,48 km² en 2024, pourrait atteindre 10,43 km² en 2050.

Tableau 4. Unités d'occupation du sol de 2015 à 2050

Unité d'occupation du sol	Superficie 2024 (km ²)	Proportion (%)	Superficie 2050 (km ²)	Proportion (%)	Différence (km ²)	Tendance
Forêt	253,00	4,82	231,20	4,41	-0,44	Régression
Forêt et savane marécageuse	565,50	10,79	481,10	9,18	-1,74	Régression
Mangrove	6,48	0,03	10,43	0,05	+0,62	Progression
Plantation	471,30	8,99	503,10	9,60	+0,66	Progression
Culture et jachère	2 916,60	55,61	2 819,60	53,77	-1,99	Régression
Plan d'eau	306,90	5,85	306,90	5,85	0,00	Stabilité
Habitat	728,10	13,90	897,90	17,17	+3,54	Progression
Total	5 242,89	100,00	5 242,89	100,00		

Source : Traitement d'images satellitaires, 2015, 2025

4. DISCUSSION

L'analyse diachronique conduite sur le site Ramsar 1017 révèle des transformations structurelles profondes, caractéristiques des dynamiques d'anthropisation accélérée dans les zones humides tropicales. Entre 2005 et 2024, la régression des forêts, savanes marécageuses et formations ripicoles, associée à une progression spectaculaire des unités agricoles et de l'habitat, confirme une tendance observée dans plusieurs zones humides du Bénin et d'Afrique de l'Ouest (Hounto *et al.*, 2019 ; Yao *et al.*, 2023). Dans le delta de l'Ouémé, par exemple, la dégradation de la couverture végétale est associée à la surexploitation des ressources naturelles et à l'intensification des activités agricoles (Ossen *et al.*, 2022). Ces transformations sont favorisées par la combinaison de plusieurs facteurs, notamment la croissance démographique, l'intensification agricole, l'urbanisation diffuse, et auxquels s'ajoutent les effets du changement climatique (El-Hadj Issah *et al.*, 2021 ; Akpoti *et al.*, 2022).

4.1. Régression des écosystèmes naturels : un signal d'alarme écologique

La perte cumulée de plus de 150 km² de formations naturelles entre 2005 et 2024 ne constitue pas un cas isolé. Elle s'inscrit dans une tendance globale

de régression et de transformation des zones humides et des écosystèmes naturels observés à l'échelle mondiale, documentée dans la littérature (Davidson, 2014 ; Fluet-Chouinard *et al.*, 2023). Dans la zone d'étude, les savanes arborées et arbustives, fortement réduites, apparaissent comme les formations les plus touchées. Leur régression s'explique principalement par leur conversion progressive en terres agricoles, favorisée par leur aptitude à la mise en culture et le potentiel agronomique de leurs sols. Des tendances similaires ont été rapportées par plusieurs travaux dans des pays d'Afrique de l'Ouest, où l'expansion des superficies cultivées se fait largement au détriment des savanes, des formations boisées et d'autres écosystèmes naturels (Herrmann *et al.*, 2020 ; Tappan *et al.*, 2016) montrent que ces formations sont systématiquement converties en zones agricoles du fait de leur accessibilité et de la qualité agronomique relative des sols.

La régression importante des forêts galeries et formations ripicoles entre 2015 et 2024 constitue un point critique. Ces habitats jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des hydrosystèmes, notamment à travers la régulation des flux hydrologiques, la rétention des nutriments et la stabilisation des berges (Simon & Collison, 2002 ; Hoffmann *et al.*, 2009 ; Okeke *et al.*, 2022). Leur déclin pourrait accentuer les risques

d'eutrophisation, d'ensablement et d'érosion des berges, des phénomènes déjà documentés dans le lac Ahémé et ses chenaux (Amoussou *et al.*, 2018 ; Yantikoua *et al.*, 2021).

4.2. Expansion agricole et étalement de l'habitat : moteurs principaux de la transformation spatiale

La progression des cultures et jachères, qui atteignent plus de 2 037 km² en 2024, confirme le rôle structurant de l'agriculture dans la dynamique territoriale du sud-ouest béninois. Dans la même logique, l'essor spectaculaire de l'habitat (+363 km² entre 2005 et 2024) témoigne d'une accélération de l'urbanisation et de l'extension des espaces bâtis dans les zones périphériques du Sud-Bénin. Cette dynamique est également observée dans les territoires autour de Cotonou et à Abomey-Calavi, où l'expansion urbaine s'accompagne d'une réduction des espaces végétalisés et agricoles (Ahouandjinou *et al.*, 2025 ; Ahouandjinou *et al.*, 2026). L'évolution simultanée des espaces agricoles et des habitats traduit ainsi une pression croissante sur le foncier, dans un contexte où les besoins en espaces résidentiels et la production agricole augmentent. La progression de ces deux catégories d'occupation du sol s'effectue au détriment des formations naturelles, contribuant à la fragmentation et à la régression de ces dernières. Cette situation est particulièrement préoccupante dans les territoires des milieux humides, où les espaces naturels assurent des fonctions écologiques essentielles et participent au maintien de plusieurs services écosystémiques.

Cette dynamique observée sur le site 1017 suit les modèles observés dans d'autres régions côtières d'Afrique de l'Ouest. Au Bénin, les changements d'occupations et d'utilisation des terres dans les paysages côtiers ont entraîné, entre autres, des modifications importantes de la contribution des écosystèmes aux services qu'ils fournissent (Tiando *et al.*, 2021). La conversion progressive des espaces naturels en terres agricoles ou espaces bâtis peut donc affecter les fonctions hydrologiques, de séquestration de carbone et de régulation des zones humides. La réduction des superficies naturelles s'accompagne d'une diminution de plusieurs services écosystémiques, notamment ceux liés à la régulation de l'eau et au traitement des déchets (Assefa *et al.*, 2021).

4.3. Mangroves : une tendance positive contrastée

Contrairement aux autres classes naturelles, la mangrove montre une légère progression entre 2005 et 2024. Cette évolution positive pourrait être liée aux efforts de restauration engagés ces dernières années, notamment dans le cadre des initiatives de reboisement et de gestion participative mises en œuvre depuis 2018 (FAO, 2025). Plusieurs travaux

confirment que les programmes de restauration des mangroves lorsqu'ils associent les communautés locales et privilégient des espèces adaptées telles que *Rhizophora racemosa*, favorisent une reconstitution progressive des peuplements ainsi qu'une amélioration de leur état écologique dans l'espace de cinq à dix ans (Gnansounou *et al.*, 2022 ; Agraz Hernandez *et al.*, 2025).

Toutefois, cette expansion reste fragile ; d'autres études montrent que la conservation et la restauration des mangroves demeurent confrontées aux conditions environnementales des sites, à l'exploitation du bois et aux usages locaux des ressources (Padonou *et al.*, 2021 ; Gnansounou *et al.*, 2021). La progression constatée doit donc être interprétée comme un gain conditionnel, dépendant de la poursuite et du renforcement des actions de conservation.

4.4. Projection 2050 : vers un paysage fortement anthropisé

Le modèle LCM prédit une intensification de l'anthropisation du site Ramsar 1017 à l'horizon 2050, avec une progression notable des zones d'habitat et une poursuite de la régression des unités naturelles, dont la superficie pourrait diminuer de près de 108 km² supplémentaires. Ces perspectives futures rejoignent les projections réalisées à l'échelle de plusieurs zones humides Ramsar et montrent que les changements futurs de l'occupation des terres et les modifications climatiques pourraient entraîner une réduction de la superficie de nombreux sites au cours du XXI^e siècle (Xi *et al.*, 2021). La poursuite de l'extension des espaces anthropisés pourrait accentuer la fragmentation des formations naturelles et réduire leur continuité spatiale. Cette évolution pourrait limiter les déplacements et la dispersion de certaines espèces, faisant de la connectivité du paysage un enjeu important pour le maintien de la biodiversité (Chetcuti *et al.*, 2022).

Le maintien de la progression de la mangrove dans les scénarios de conservation stricte (+3,95 km² d'ici 2050) montre toutefois que les mesures de restauration peuvent inverser certaines tendances négatives, ce qui rejoint les conclusions de travaux récents sur la restauration écologique (Aronson *et al.*, 2020 ; Sudmeier-Rieux *et al.*, 2021).

4.5. Implications

Les résultats mettent en évidence une tension structurelle entre la conservation écologique et les dynamiques socioéconomiques locales. La pression agricole, nécessaire pour soutenir les moyens d'existence et la sécurité alimentaire, s'exerce au détriment de la résilience des zones humides, pourtant essentielles à la pêche, au stockage du carbone, à la régulation des eaux et au tourisme écologique (Dixon *et al.*, 2021 ; Barbier *et al.*,

2011). Sans renforcement de la gouvernance environnementale, la dégradation des zones humides pourrait entraîner une diminution progressive de leurs fonctions écologiques avec risque de perte irréversible de biodiversité (Dudgeon *et al.*, 2006 ; Dixon *et al.*, 2021), tout en accroissant la vulnérabilité des populations aux aléas climatiques (IPCC, 2022).

5. CONCLUSION

L'étude réalisée sur le Site Ramsar 1017 met en évidence une transformation profonde et continue des paysages au cours des deux dernières décennies. Entre 2005 et 2024, les écosystèmes naturels, notamment les forêts galeries, les savanes marécageuses, les savanes arborées et les formations ripicoles, ont montré une régression marquée, confirmant la fragilisation structurelle de ce complexe humide sous l'effet combiné de la pression démographique, de l'expansion agricole et de l'urbanisation diffuse. Parallèlement, les surfaces anthropiques, dominées par les cultures, jachères et zones d'habitat, se sont fortement étendues, témoignant d'une dynamique d'anthropisation désormais dominante.

La modélisation prospective à l'horizon 2050 révèle que, sans inflexion majeure des tendances actuelles, la dégradation des écosystèmes naturels se poursuivra, entraînant une perte supplémentaire d'environ 108 km² de formations végétales naturelles. Toutefois, l'évolution positive observée au niveau des mangroves montre que les efforts de restauration engagés ces dernières années peuvent inverser certaines trajectoires négatives, à condition d'être renforcés.

Ces résultats soulignent l'urgence d'une gouvernance environnementale renforcée, fondée sur une gestion durable des ressources, une restauration écologique et l'implication des communautés. La préservation du Site Ramsar 1017, dont dépendent des milliers de ménages et une biodiversité unique constitue un enjeu écologique et un impératif socio-économique majeur pour la résilience du sud-ouest béninois face aux changements climatiques et aux pressions humaines.

Des études ultérieures pourraient approfondir l'analyse des facteurs responsables des changements observés, notamment les dynamiques démographiques, agricoles, urbaines et climatiques. Elles devraient également évaluer l'efficacité des actions de restauration et intégrer davantage de données socioéconomiques et climatiques afin d'améliorer les projections de l'évolution du Site Ramsar 1017 à l'horizon 2050.

Références

- Agence béninoise pour l'environnement (ABE), 2023. *Actualisation du plan de gestion du site Ramsar 1017 : Basse vallée du Couffo – Lagune côtière – Chenal Aho – Lac Ahémé*. Cotonou, Bénin : ABE, 185 p.
- Agence béninoise pour l'environnement (ABE), 2024. *Rapport intégré sur l'état de l'environnement au Bénin (RIEEB)*. Cotonou, Bénin : ABE, 291p.
- Agraz Hernández C.M., Houndjinou E., Reyes Castellanos J.E. *et al.*, 2025. *Hydrological repair and invasive grass removal restore Rhizophora racemosa mangrove communities in West Africa*. Restoration Ecology. DOI : 10.1111/rec.70084.
- Ahouandjinou S. D. I. T. K., Mukotanyi S. M., Keri A.-W. B. *et al.*, 2026. *Urban expansion driven by coexisting diffusion and coalescence processes in a rapidly growing Sub-Saharan city*. Discover Cities, 128 p.
- Ahouandjinou S. D. I. T. K., Sodalo C., Sambieni R. K., Osseni A. A., Akossou A. Y. J. & Bogaert J., 2025. *Built-up expansion and urban land use trade-offs in peri-urban Cotonou (Benin), West Africa: A scenario-based remote sensing approach*. City and Environment Interactions, 28, 100263. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2025.100263>
- Akpoti K., Groen T., Dossou-Yovo E. R., Kobo-bah A. T. & Zwart S. J., 2022. Climate change-induced reduction in agricultural land suitability of West-Africa's inland valley landscapes. *Agricultural Systems*, 200, 103429. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103429>
- Amoussou E., Totin Vodounon H. S., Vissin E. W., Mahé G. & Oyédé M. L., 2018. Sedimentary evolution and ecosystem change in Ahémé lake, south-west Benin. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 377, 91–96. <https://doi.org/10.5194/piahs-377-91-2018>
- Aronson J., Goodwin N., Orlando L., Eisenberg C. & Cross A. T., 2020. A world of possibilities: Six restoration strategies to support the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. *Restoration Ecology*, 28(4), 730–736. <https://doi.org/10.1111/rec.13170>
- Assefa W. W., Eneyew B. G. & Wondie A., 2021. The impacts of land-use and land-cover change on wetland ecosystem service values in peri-urban and urban area of Bahir Dar City, Upper Blue Nile Basin, Northwestern Ethiopia. *Ecological Processes*, 10, 39. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00310-8>
- Barbier E. B., Hacker S. D., Kennedy C., Koch E. W., Stier A. & Silliman B., 2020. The value of coastal wetlands for climate change mitigation. *Science Advances*, 6(10), eaay6792.
- Barbier E. B., Hacker S. D., Kennedy C., Koch E. W., Stier A. C. & Silliman B. R., 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>
- Chetcuti J., Kunin W. E. & Bullock J. M., 2022. Species' movement influence responses to habitat fragmentation. *Diversity and Distributions*, 28(10), 2215–2228. <https://doi.org/10.1111/ddi.13623>
- Davidson N. C., 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area.

Marine and Freshwater Research, 65(10), 934–941.
<https://doi.org/10.1071/MF14173>

Dixon A., Wood A. & Hailu A., 2021. Wetlands in Ethiopia: Lessons From 20 years of Research, Policy and Practice. *Wetlands*, 41, 20.
<https://doi.org/10.1007/s13157-021-01420-x>

Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M. O., Kawabata Z.-I., Knowler D. J., Lévêque C., Naiman R. J., Prieur-Richard A.-H., Soto D., Stiassny M. L. J. & Sullivan C. A., 2006. Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182.
<https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>

Fluet-Chouinard E., Stocker B. D., Zhang Z., Malhotra A., Melton J. R., Poulter B., Kaplan J. O., Klein Goldewijk K., Siebert S., Minayeva T., Hugelius G., Joosten H., Barthelmes A., Prigent C., Aires F., Hoyt A. M., Davidson N. C., Finlayson C. M., Lehner B., Jackson R. B. & McIntyre P. B., 2023. Extensive global wetland loss over the past three centuries. *Nature*, 614(7947), 281–286. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05572-6>

Gnansounou S. C., Toyi M., Salako K. V., Ahossou O. D., Akpona T. J. D., Gbedomon R. C., Assogbadjo A. E. & Glèlè Kakai R., 2021. Local uses of mangroves and perceived impacts of their degradation in Grand-Popo municipality, a hotspot of mangroves in Benin, West Africa. *Trees, Forests and People*, 4, 100080.
<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100080>

Gnansounou S.C., Salako K.V., Sagoe A.A., Mattah P. A. D., Aheto D. W. & Glèlè Kakai R., 2022. *How far are mangrove ecosystems in Benin (West Africa) conserved by the Ramsar Convention?* *Land Use Policy*, 108, 105583. DOI : 10.1016/j.landusepol.2021.105583.

Golden H. E., Rajib A. & Lane C. R., 2019. Non-floodplain wetlands affect watershed nutrient dynamics: A critical review. *Environmental Science & Technology*, 53(13), 7203–7214.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07270>

Hamilton S. E. & Friess D. A., 2016. Global carbon stocks and potential emissions from mangrove conversion. *Nature Climate Change*, 6(3), 1–10.
<https://doi.org/10.1038/nclimate2914>

Herrmann S.M., Brandt M., Rasmussen K. & Fensholt R., 2020. *Accelerating land cover change in West Africa over four decades as population pressure increased*. *Communications Earth & Environment*, 1, 53.
<https://doi.org/10.1038/s43247-020-00053-y>

Hoffmann C. C., Kjærgaard C., Uusi-Kämpä J., Hansen H. C. B. & Kronvang B., 2009. Phosphorus retention in riparian buffers: Review of their efficiency. *Journal of Environmental Quality*, 38(5), 1942–1955.
<https://doi.org/10.2134/jeq2008.0087>

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.

Mensah A., Osei I. & Boateng E., 2021. Population pressure and wetland degradation. *Environmental Development*, 40, 100686.

Okeke C. A. U., Uno J., Academe S., Emenike P. C., Abam T. K. S. & Omole D. O., 2022. An integrated assessment of land use impact, riparian vegetation and lithologic variation on streambank stability in a peri-urban watershed (Nigeria). *Scientific Reports*, 12, 10989.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-15008-w>.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2025. *Renforcement de la résilience des systèmes humains et naturels au changement climatique à travers la conservation et l'utilisation durable des écosystèmes de mangrove dans le Sud du Bénin*. Projet FAO/FEM-LDCF, Bénin.

Osseni A. A., Dossou-Yovo H. O., Gbesso G. H. F., Lougbegnon T. O. & Sinsin B., 2022. Spatial Dynamics and Predictive Analysis of Vegetation Cover in the Ouémé River Delta in Benin (West Africa). *Remote Sensing*, 14(23), 6165.
<https://doi.org/10.3390/rs14236165>

Padonou E. A., Gbaï N. I., Kolawolé M. A., Idohou R. & Toyi M., 2021. How far are mangrove ecosystems in Benin (West Africa) conserved by the Ramsar Convention? *Land Use Policy*, 108, 105583.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105583>

Ramsar Convention Secretariat, 2019. *Fiche descriptive du Site Ramsar n°1017 : Basse vallée du Couffo – Lagune côtière – Chenal Aho – Lac Ahémé (Bénin)*. Gland, Suisse : Secrétariat de la Convention de Ramsar, 22 p.

Simon A. & Collison A. J. C., 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(5), 527–546.
<https://doi.org/10.1002/esp.325>

Sudmeier-Rieux K., Arce-Mojica T., Boehmer H. J., Doswald N., Emerton L., Friess D. A., Galvin S., Hagenlocher M., James H., Laban P., Lacambra C., Lange W., McAdoo B. G., Moos C., Mysiak J. & Narvaez L., 2021. Scientific evidence for ecosystem-based disaster risk reduction. *Nature Sustainability*, 4, 803–810. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00732-4>

Tappan G. G., Cushing W. M., Cotillon S. E., Hutchinson J. A., Pengra B., Alfari I., Botoni E., Soule A. & Herrmann S. M., 2016. *Landscapes of West Africa: A Window on a Changing World*. Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS), U.S. Geological Survey (USGS), and USAID, 219 p. <https://doi.org/10.5066/F7N014QZ>.

Tiando D. S., Hu S., Fan X. & Ali M. R., 2021. Tropical Coastal Land-Use and Land Cover Changes Impact on Ecosystem Service Value during Rapid Urbanization of Benin, West Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7416. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147416>

Xi Y., Peng S., Ciais P. & Chen Y., 2021. Future impacts of climate change on inland Ramsar wetlands. *Nature Climate Change*, 11, 45–51.
<https://doi.org/10.1038/s41558-020-00942-2>

Yantikoua S., Laïbi R., Adechina R., Kaki C., Mama D. & Laleye P., 2021. Dynamique hydrologique et évolution morpho-sédimentaire du lac Ahémé au Sud-Ouest du

Bénin. *European Scientific Journal*, 17(10), 77–98.
<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p77>

Yao K. L., Kouakou K. E., Kouassi A. M., Deguy A. J.-P. & Camara M., 2023. Analysis of land use change in

the N'ZI watershed of Côte d'Ivoire using Landsat satellite images. *Earth and Space Science*, 10(3), e2022EA002744. <https://doi.org/10.1029/2022EA002744>