

Impacts des activités anthropiques sur la dégradation environnementale dans le bassin du lac Toho au Sud-Est Bénin

[Impacts of anthropogenic activities on environmental degradation in the Lake Toho basin in Southeast Benin]

Coömlan Charles HOUNTON¹, Moïse DAKODO¹, Jacqueline Fifame DOSSOU¹, and OUOROU BARRE F. Imoro²

¹Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, Parakou, Benin

²Laboratoire d'Hydrologie et de Modélisation Environnementale (HydroModE-Lab), Université de Parakou (UP), Benin

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The degradation of aquatic ecosystems is a widespread and concerning phenomenon in southern Benin, where most of the country's wetlands are located. This study analyzes the impacts of anthropogenic activities and environmental degradation in the Toho Lake watershed in southern Benin through a combined approach of spatial analysis and field surveys.

The results reveal that the main identified pressures are artisanal fishing, agriculture, deforestation, and urbanization. The expansion of agricultural land (+2.72%), the increase in bare soil (+25.49%), and the decline of gallery forests (– 4.5% per year) indicate a progressive degradation of the watershed. The hemeroby index highlights the growing artificialization of natural environments, which negatively affects environmental quality and the sustainability of ecosystem services (biodiversity, water quality, and hydrological regulation). In view of these findings, it is essential to adopt integrated management approaches that combine geospatial tools, ecological restoration, and the active involvement of local communities.

KEYWORDS: anthropization, aquatic ecosystems, hemeroby, land use, Lake Toho.

RESUME: La dégradation des écosystèmes aquatiques constitue un phénomène très répandu et préoccupant dans le Sud-Bénin où se trouve la majorité des zones humides du pays. Cette étude analyse les impacts des activités anthropiques sur la dégradation environnementale du bassin versant du lac Toho dans le Sud-Bénin à travers une approche croisée entre l'analyse spatiale et les enquêtes de terrain.

Les résultats révèlent que les principales pressions identifiées sont la pêche artisanale, l'agriculture, la déforestation et l'urbanisation. Une expansion des terres agricoles (2,72 %), l'augmentation des sols nus (25,49 %) et la diminution des forêts galeries (- 4,5 % par an) traduisent une dégradation progressive du bassin versant. L'indice d'hémérobie met en évidence une artificialisation croissante des milieux naturels, affectant la qualité environnementale et la durabilité des services écosystémiques (biodiversité, qualité des eaux, régulation hydrique). Face à ces constats, il est impératif d'adopter des approches de gestion intégrée associant outils géospatiaux, restauration écologique et participation des populations locales.

MOTS-CLEFS: anthropisation, écosystèmes aquatiques, hémérobie, occupation du sol, Lac Toho.

1 INTRODUCTION

La dégradation des écosystèmes lacustres et des zones humides est une problématique récurrente dans les régions tropicales, exacerbée par l'intensification des activités humaines et les changements d'occupation du sol (Ky-Dembele et al., 2019) et (Reij et al., 2005). En Afrique de l'Ouest, la croissance démographique, combinée aux besoins accrus en terres agricoles et en ressources naturelles, entraîne une dynamique accélérée de conversion des milieux naturels au détriment des zones humides et des écosystèmes aquatiques

(Fasona & Omojola, 2009). Ces pressions anthropiques affectent gravement les services écosystémiques fournis par ces milieux, tels que la régulation hydrique, la biodiversité et les ressources halieutiques, comme l'ont souligné Bossa, (Bossa et al., 2014) dans le contexte béninois.

Les impacts des changements d'occupation du sol, tels que l'extension des terres agricoles, l'intensification de la pêche, l'extraction des ressources et l'urbanisation non planifiée, contribuent directement à la dégradation des plans d'eau. Cette situation est bien documentée à travers divers travaux scientifiques (Lalis et al., 2012) et (Dwomoh et al., 2019). L'expansion des surfaces agricoles au détriment des forêts galeries et des zones humides favorise l'érosion, l'envasement et l'altération de la qualité des eaux, ce qui fragilise la résilience des écosystèmes aquatiques (Kelder et al., 2013). Ces processus sont d'autant plus préoccupants dans les bassins versants tropicaux où les dynamiques de l'occupation du sol sont étroitement liées aux stratégies de subsistance des populations locales, notamment dans les zones périurbaines en pleine mutation (Arumugam et al., 2021). Plusieurs auteurs soulignent également que les changements climatiques interagissent avec les dynamiques anthropiques pour accélérer la détérioration des milieux aquatiques et humides en Afrique de l'Ouest (Ouedraogo et al., 2009) et (Biah et al., 2024). Cette interaction complexe entre facteurs climatiques et anthropiques conduit à une artificialisation croissante des paysages, souvent mesurée par des indicateurs comme l'indice d'hémérobie, qui évalue le degré de perturbation des milieux naturels. La pression exercée par l'homme entraîne la fragmentation des habitats et la perte de continuité écologique, avec des répercussions notables sur la biodiversité et les cycles biogéochimiques (Barbier et al., 2007) et (Lamb et al., 2024).

Dans le cas du lac Toho, situé dans le sud-ouest du Bénin, ces problématiques sont d'une actualité brûlante. Ce plan d'eau subit des transformations rapides liées à l'intensification des usages agricoles et halieutiques, à l'urbanisation et à la pression démographique croissante. Comme l'ont montré (Nyumah & Brambilla, 2025), la gestion des ressources naturelles dans de telles zones nécessite une approche intégrée qui prenne en compte la diversité des acteurs et des usages. De plus, les enjeux environnementaux se croisent avec des considérations socio-économiques, comme l'a démontré (Ball, 1978) en analysant la dépendance des populations rurales vis-à-vis des ressources naturelles dans les contextes de stress climatique et de pauvreté. Les travaux récents mettent aussi en lumière le rôle des industries extractives et des aménagements dans l'accentuation des pressions sur les milieux aquatiques (Lamb et al., 2024). Ces dynamiques contribuent à une perte continue de surface des écosystèmes aquatiques, aggravant leur vulnérabilité face aux risques naturels et anthropiques. L'étude du lac Toho s'inscrit donc dans cette perspective plus large d'évaluation des impacts cumulés des activités humaines sur la dégradation environnementale, à travers des approches combinant télédétection, analyses spatiales et enquêtes de terrain. Ainsi, dans le cadre de cette étude, il s'avère pertinent d'analyser les impacts des activités anthropiques sur l'écosystème du lac Toho, en mettant en lumière la dynamique de l'occupation du sol dans son bassin versant.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Le milieu de recherche est la partie Sud-Ouest du milieu littoral Bénin comportant le lac Toho. Il s'agit du bassin versant du lac Toho (Figure 1).

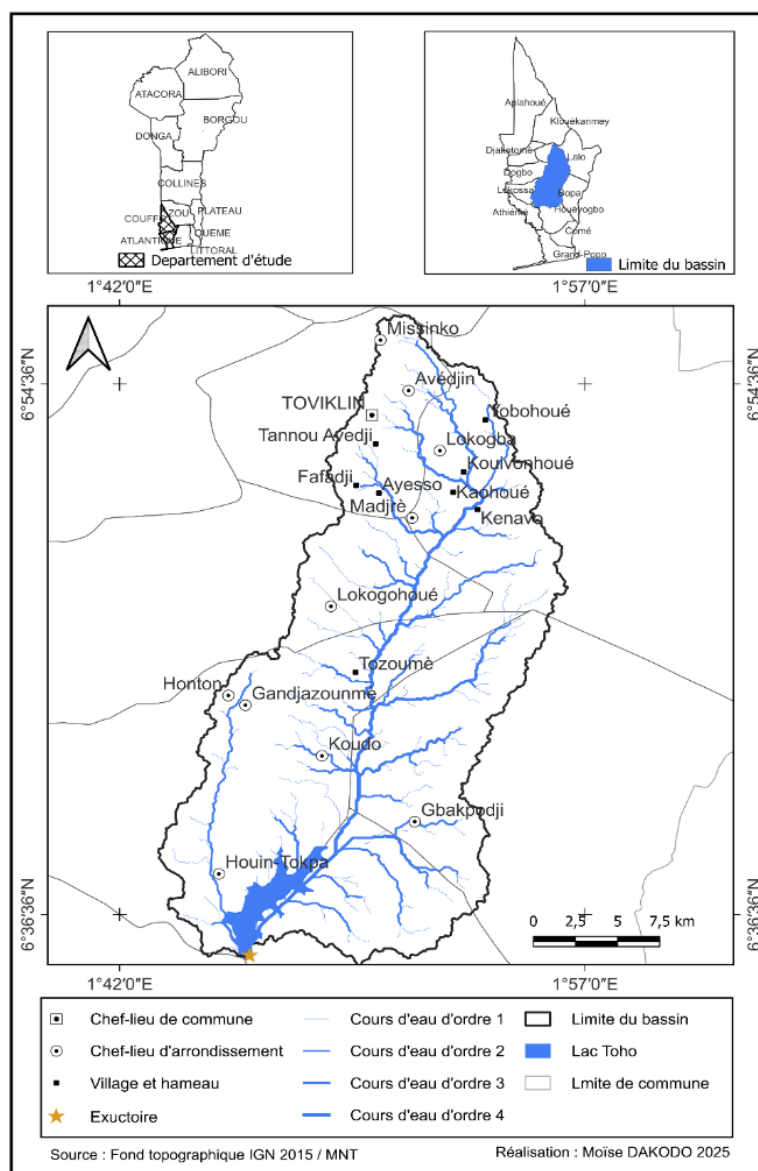


Fig. 1. Situation géographique du bassin versant du lac Toho

D'après la figure 1, le bassin versant du lac Toho est localisé entre 01°42' et 01°57' longitudes est puis entre 06°36' et 06°54' latitudes nord. Il couvre une superficie de 54698,97 ha, partagé par deux départements Couffo et Mono et traverse six 06 communes à savoir: la commune de Lolo, Toviklin et Dogbo dans le département du Couffo; Gbokpa, Lokossa et Houéyogbo dans le département du Mono. La ramification du réseau hydrographique est ordonnée selon la classification de Strahler. Le lac Toho est le principal réservoir qui regorge les eaux de surface du bassin versant. Le milieu de recherche bénéficie d'un climat de type subéquatorial avec une succession de quatre saisons. Dans la basse vallée, les sols alluviaux et colluviaux sont riches en matière organique, très fertiles mais soumis à des inondations saisonnières. En revanche, les terres de barre présentent des sols ferralitiques argilo-sableux, bien drainés mais dégradés et peu rétenteurs. Profonds et faciles à cultiver, ils conviennent aux cultures annuelles, mais subissent une forte pression démographique.

2.2 DONNÉES

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sur l'impact des activités anthropiques et dégradation environnementale combinent entre autres deux types de données, il s'agit:

- ✓ Données socioéconomiques collectées sur les différentes activités anthropiques des riverains du lac Toho résident dans le bassin versant. Ces données ont permis d'identifier les principales activités anthropiques pratiquées dans l'ensemble du bassin versant.
- ✓ Données d'observation de la terre (télédétection), le Modèle Numérique de Terrain (MNT) téléchargé sur le site www.earthexplorer.usgs.gov, les images satellitaires du capteur Sentinel 2 du programme Copernicus de deux périodes 2015 et 2024

disponible sur le site <https://dataspace.copernicus.eu/>. Ces données ont permis dans un premier temps de délimiter l'environnement du lac (bassin versant), de réaliser les différentes cartes de l'occupation du sol, ressortir les statistiques des zones agricoles au fil des années et de pouvoir évaluer l'impact de ces activités anthropiques sur l'environnement.

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

2.3.1 TRAITEMENT DES DONNÉES SOCIOÉCONOMIQUES

Le traitement numérique des données socioéconomiques a été fait avec la base de données kobocollect issue de l'enquête de terrain. Une analyse statistique descriptive et visualisation des données basée sur le calcul de la moyenne et fréquence des activités de la communauté riveraine qui a permis de ressortir les actions anthropiques qui pèsent sur le bassin versant du lac Toho. La Création de graphique (diagrammes en barres) a été générée à travers le logiciel Excel 2019 et la saisie des textes dans le logiciel word 2019.

2.3.2 TRAITEMENT DES DONNÉES D'OBSERVATION DE LE TERRE (IMAGES)

La méthodologie adoptée pour la cartographie de l'occupation du sol repose sur une approche par classification supervisée mise en œuvre via la plateforme Google Earth Engine (GEE). Le processus se décompose en six étapes séquentielles et interdépendantes.

ETAPE 1: DÉFINITION DES CLASSES (LÉGENDE)

Cette première étape constitue le socle conceptuel de la carte. Elle consiste à définir un système de classification, ou légende, qui soit à la fois pertinent pour les objectifs de l'étude et conforme aux standards scientifiques pour garantir la comparabilité des résultats. La nomenclature doit présenter des classes mutuellement exclusives.

ETAPE 2: COLLECTE DES DONNÉES D'ENTRAÎNEMENT (ÉCHANTILLONNAGE)

Dans le processus de classification supervisée, la collecte des données d'entraînement (appelée encore les zones d'entraînement) est le cœur de l'approche supervisée. Ici dans l'interface de Google Earth Engine (GEE), les points ou polygones sont créés et représentent des vérité-terrain pour chaque classe d'occupation du sol. La qualité de la classification dépend directement de la qualité des échantillons. (Foody & Mathur 2004) ont démontré de manière percutante qu'un classifieur sophistiqué (comme les réseaux de neurones) nourri avec des données d'entraînement de mauvaise qualité peut produire des résultats inférieurs à ceux d'un classifieur simple nourri avec des données de haute qualité.

ETAPE 3: SÉLECTION ET PRÉ-TRAITEMENT DE L'IMAGE

Cette phase porte sur la sélection et la préparation des données satellitaires qui serviront de base à la classification. Le choix s'est porté sur les images du capteur MSI de Sentinel-2, en raison de leur résolution spatiale (10 m) et de leur richesse spectrale. Pour assurer une analyse diachronique, deux périodes d'étude ont été définies: 2015 et 2024. Les images subissent un pré-traitement essentiel incluant le masquage des nuages et des ombres, ainsi que des corrections atmosphériques pour obtenir des réflectances de surface. En complément des bandes spectrales brutes, des indices spectraux sont calculés pour améliorer la discrimination des classes, une pratique dont l'efficacité est largement documentée. Parmi eux, l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) ((Rouse et al., 1974), l'Indice d'Eau par Différence Normalisée (NDWI) (McFEETERS, 1996), et l'Indice de Bâti par Différence Normalisée (NDBI) ((Zha et al., 2003) sont intégrés comme prédicteurs.

ETAPE 4: CHOIX ET ENTRAÎNEMENT DU CLASSIFIEUR

Cette étape concerne la sélection de l'algorithme d'apprentissage automatique. Pour cette étude, le choix s'est porté sur l'algorithme des Forêts Aléatoires (Random Forest). Proposé par (Breiman, 2001), il s'agit d'un classifieur d'ensemble qui agrège les résultats de multiples arbres de décision, ce qui améliore la précision et limite le risque de sur-apprentissage. Sa robustesse et sa haute performance pour la classification d'images de télédétection ont été confirmées par de nombreuses études comparatives ((Belgiu & Drăguț, 2016), justifiant ainsi son utilisation.

ETAPE 5 & 6: CLASSIFICATION ET ÉVALUATION DE LA PRÉCISION

La dernière phase comprend deux volets: d'abord, l'application du modèle entraîné à l'ensemble de l'image pour générer la carte d'occupation du sol; ensuite, une évaluation quantitative rigoureuse de sa fiabilité. Cette évaluation constitue une étape indispensable du processus. La méthodologie s'appuie sur la matrice de confusion, un outil standardisé popularisé par (Congalton, 1991). À partir d'un jeu de données de validation indépendant, la matrice de confusion permet de calculer la précision globale, l'indice de Kappa, ainsi que

des métriques par classe essentielles pour l'interprétation: la précision utilisateur (mesure de l'erreur de commission) et la précision producteur (mesure de l'erreur d'omission).

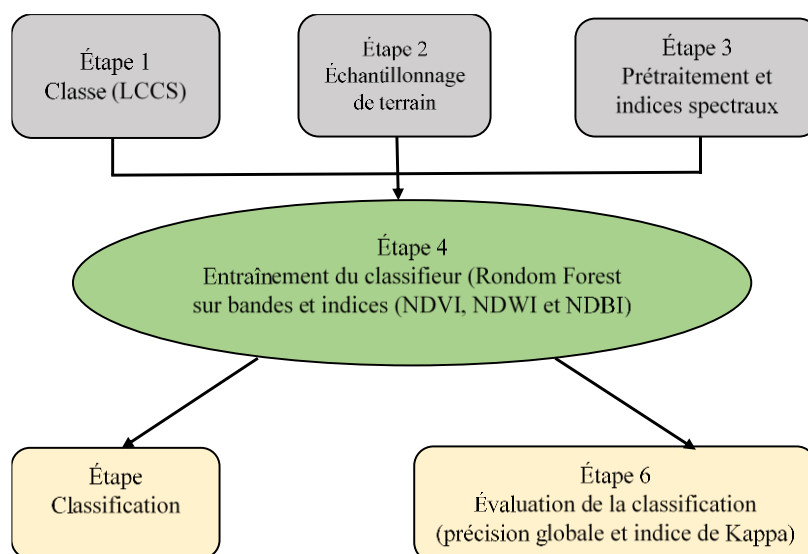


Fig. 2. Synthèse des étapes du traitement des images

2.4 INDICE DE L'HÉMÉROBIE

L'indice d'hémérobie permet d'évaluer le degré d'impact des activités humaines sur l'environnement en attribuant des degrés différents aux classes d'occupation du sol. Les classes de l'occupation du sol artificialisées ont ainsi un degré d'hémérobie élevé selon ce que leur culture nécessite et leur impact sur l'environnement. L'hémérobie a été largement appliquée pour évaluer l'intensité de la perturbation humaine sur l'environnement, qui est un indice basé sur le poids de surface des différents types de paysages dans chaque unité d'échantillonnage (Wang et al., 2023). Il est calculé comme suit:

$$HI = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{S} \right) \cdot C_i$$

Où:

HI est l'indice de hémérobie de l'unité d'échantillon; i est le type de paysage et n est le nombre de types de paysage; S_i est la superficie du type de paysage i dans l'unité statistique et S est la superficie de l'unité statistique; et C_i est le coefficient d'intensité de perturbation humaine du type de paysage i, selon les rapports existants et la méthode d'évaluation des experts. Chaque classe d'occupation du sol a été associée à un niveau d'hémérobie sur une échelle de 1 à 7. Les coefficients retenus pour chaque classe sont : Eau = 1, Forêts & savane = 2.5, Plantation = 4, Terre agricole = 5, Sol nu = 6, Agglomération = 7.

3 RÉSULTATS

3.1 ACTIVITÉS ANTHROPIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU LAC TOHO

Le bassin versant du lac Toho situé dans le département du Mono et Couffo est traversé par plusieurs communes rurales au sud Bénin. La figure 3 montre la répartition des principales actions anthropiques selon leur degré de prédominance (en %).

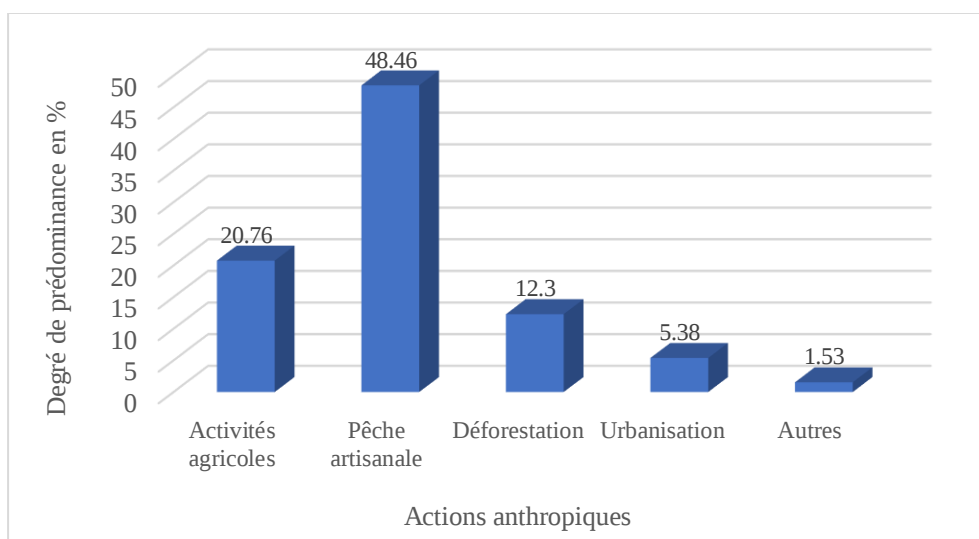


Fig. 3. Actions anthropiques dans le bassin versant du lac Toho

D'après la figure 3, il ressort que la pêche artisanale pratiquée par les pêcheurs est la première activité anthropique ayant un degré de prédominance de 48,46 %. Ensuite vient les différentes activités agricoles avec 20,76 % et la déforestation soit 12, 3%. L'urbanisation et les autres activités pratiquées comme élevage, l'extraction du sable et de l'argile sont respectivement représentés à savoir 5,38 % et 1,53 %. Ces résultats mettent en évidence une anthropisation marquée du bassin versant du lac Toho, dominée par la pêche (usage de filets à mailles fines, pêche en période de reproduction et augmentation du nombre de pêcheurs sans régulation) et l'agriculture (cultures maraîchères, vivrières sur les berges; utilisation excessive d'engrais et de pesticides et défrichement et mise en culture de zones humides) sont illustrés sur la figure 4 (1, 2, 3, et 4).



Fig. 4. (1) filets à mailles fines, (2) capture des petits poissons et surexploitation, (3) et (4) activités maraîchères et production agricole

3.2 DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL

3.2.1 EVALUATION DE LA CLASSIFICATION

Une classification n'est pas complète sans l'évaluation de son exactitude. La précision globale et indice de kappa sont les deux indicateurs d'évaluation utilisé dans le cadre de cette étude pour valider la classification des deux cartes de l'occupation du sol dans le bassin versant du lac Toho au sud-Bénin. Après le calcul de ces indicateurs, la classification de l'année 2015 et 2024 ont respectivement une précision globale de 92, 68 % et 93, 90 %. L'indice de kappa calculé pour ces deux classifications est respectivement 90,89 % et 92,58 %. La valeur élevée de la précision globale et indice de kappa des cartes, qui tendent vers +1, montre que les différents résultats d'évaluation des images classifiées par la méthode de la classification supervisée sont donc validés.

3.2.2 CARTES DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DU LAC TOHO

Les cartes de l'occupation du sol de 2015 et 2024 (figure 5) sont issues de la vectorisation des images classifiées. Celles-ci illustrent spatialement, temporairement et quantitativement les changements importants survenus dans le bassin versant du lac Toho pour la période de 2015 à 2024 au niveau des différentes classe de l'occupation du sol.

Du point de vue physionomique, les classes de l'occupation du sol identifiées sont composées de l'eau, de l'agglomération, de terre agricole, de la forêt et plantation et de la forêt galerie (figure 5).

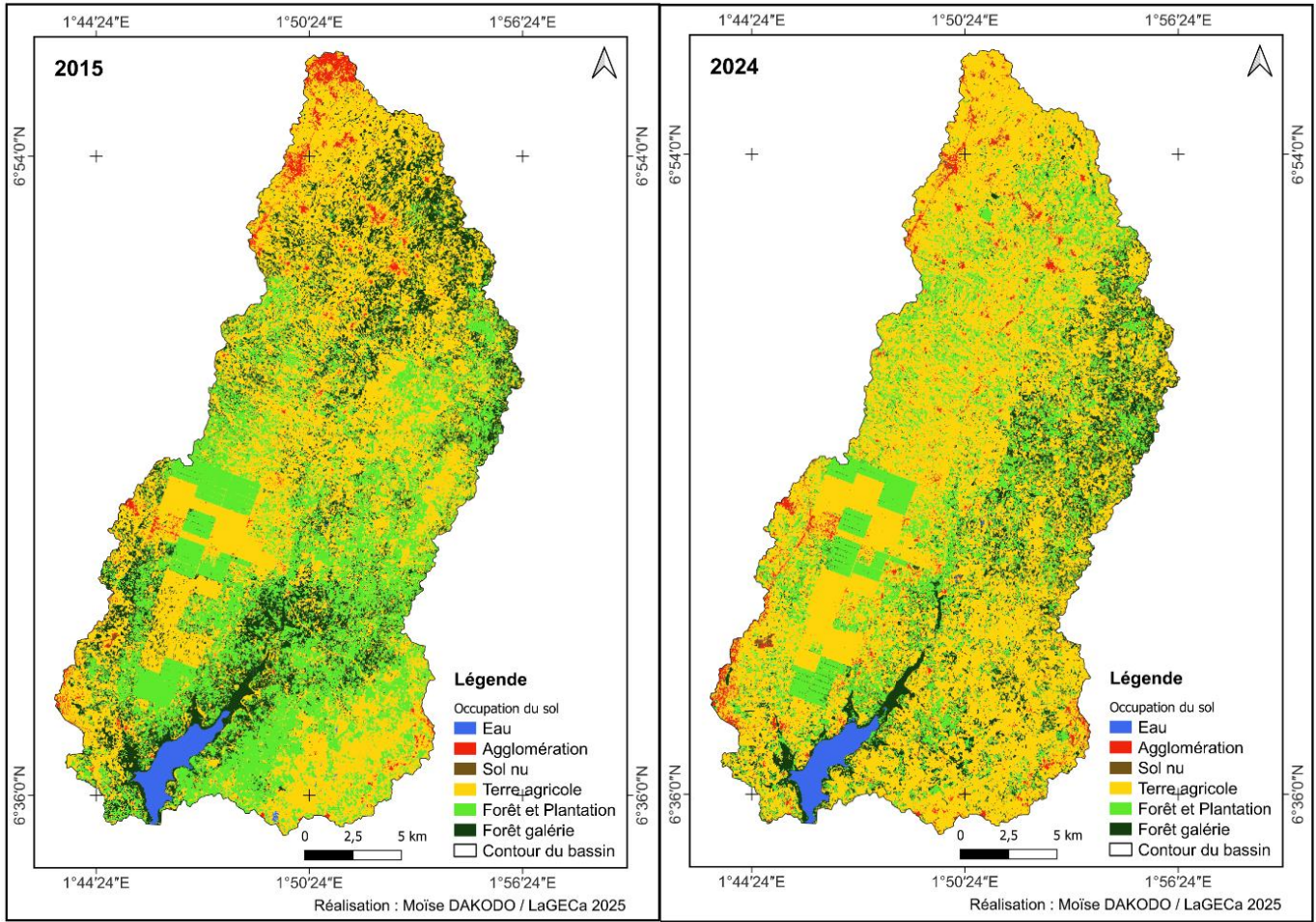


Fig. 5. Cartes de l'occupation du sol de 2015 et 2024

D'après la figure 5, en 2015 le paysage du bassin versant présente une physionomie de mosaïque où les activités agricoles sont prépondérantes avec une présence significative de forêts et de plantations. La carte de 2024 montre une évolution significative de la physionomie du paysage, marquée par une intensification des activités humaines (expansion des agglomérations et des sols nus et une régression et fragmentation des forêts).

La comparaison physionomique des deux cartes met en évidence une dynamique d'anthropisation croissante du bassin versant entre 2015 et 2024. Cette évolution se traduit par une expansion des zones artificialisées et une pression accrue sur les milieux naturels, notamment les forêts. La matrice de transition présente les différentes conversions subies par les classes de l'occupation du sol du bassin versant du lac Toho entre 2015 et 2024, consignées dans le tableau.

Tableau 1. Matrice de transition des classes d'occupation du sol du bassin versant du lac Toho de 2015 et 2024

		Superficie 2024						
	Classes	Agglomération	Eau	Forêt galerie	Forêt et plantation	Sol nu	Terre agricole	Total général
Superficie 2015	Agglomération	535	0	3	2	90	488	1118
	Eau	0	722	29	2	0	19	772
	Forêt galerie	29	20	1645	2471	9	5507	9681
	Forêt et plantation	27	2	2021	5568	5	8162	15785
	Sol nu	4	0	0	0	15	4	23
	Terre agricole	681	1	2757	3061	109	20713	27322
	Total général	1276	745	6455	11104	228	34893	54701

La matrice de transition a permis de faire le bilan des gains, des pertes et des persistances en termes de superficie des classes de l'occupation du sol entre les deux dates. D'après le tableau, les sols nus et les terres agricole sont les deux classes qui ont plus de gains, soit respectivement 205 ha et 7572 ha sur une période de 9 ans, allant de 2015 à 2024. Ceci au détriment de la forêt galerie et de la forêt et des zones de plantation sur l'ensemble du bassin versant du lac Toho.

La figure 6 nous présente le taux annuel moyen en % d'évolution des différentes classes de l'occupation du sol dans le bassin versant.

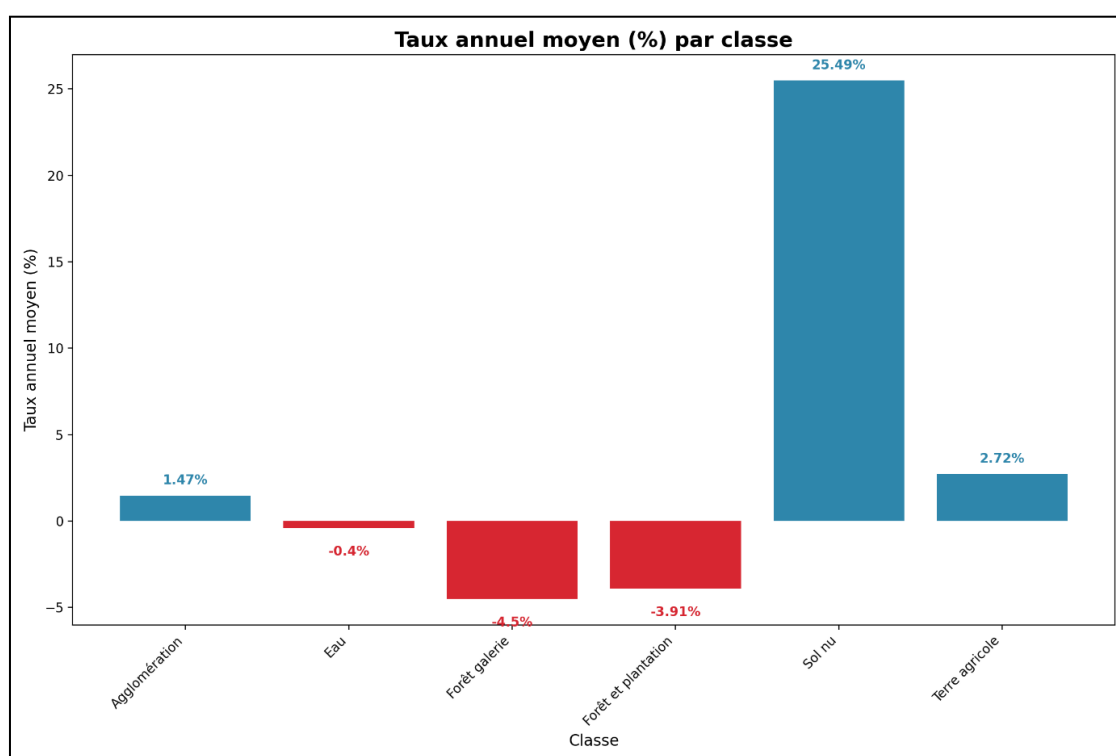


Fig. 6. Taux annuel moyen d'évolution des classes de l'occupation du sol de 2015 à 2024

D'après l'analyse de la figure 6, les classes de l'occupation du sol à savoir l'agglomération, sol nu et terre agricole ont un taux annuel moyen d'évolution positive, respectivement 1,47 %; 25,49% et 2,72 %. Dans le même temps, l'eau, la forêt galerie et la forêt et plantation régressent chaque année soit un taux annuel moyen d'évolution respective de - 0,4 %, - 4,5 % et - 3,91 %. Cette répartition des changements annuels au niveau des classes de l'occupation du sol et le taux élevé du changement annuel des sols nus explique mieux à quelle point le bassin versant du lac de Toho a été anthropisé. Cette évolution, couplée à l'expansion agricole et l'expansion de l'agglomération, suggère des pressions environnementales fortes pouvant mener à une dégradation des écosystèmes et à une perte de biodiversité.

4 IMPACTS DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR L'ENVIRONNEMENT

L'indice d'hémérobie (IH) est une mesure du niveau d'anthropisation d'un territoire, c'est-à-dire de son degré d'artificialisation ou de perturbation par les activités humaines.

Plus la valeur est élevée, plus l'environnement est modifié, dégradé ou artificialisé. Le tableau II présente la valeur de l'IH calculé pour les deux cartes et l'interprétation de chaque valeur.

Tableau 2. Valeur de l'IH et interprétation

Couleur	Valeur IH	Interprétation
Vert foncé	1 – 2	Milieu naturel ou très peu perturbé
Vert clair	2 – 3	Milieu semi-naturel
Jaune	3 – 5	Milieu faiblement à modérément perturbé
Orange	5 – 6	Milieu fortement transformé
Rouge	6 – 7	Milieu totalement artificialisé

La figure 7 présente les deux cartes de l'IH réalisées à partie de la carte de l'occupation du sol de chaque année.

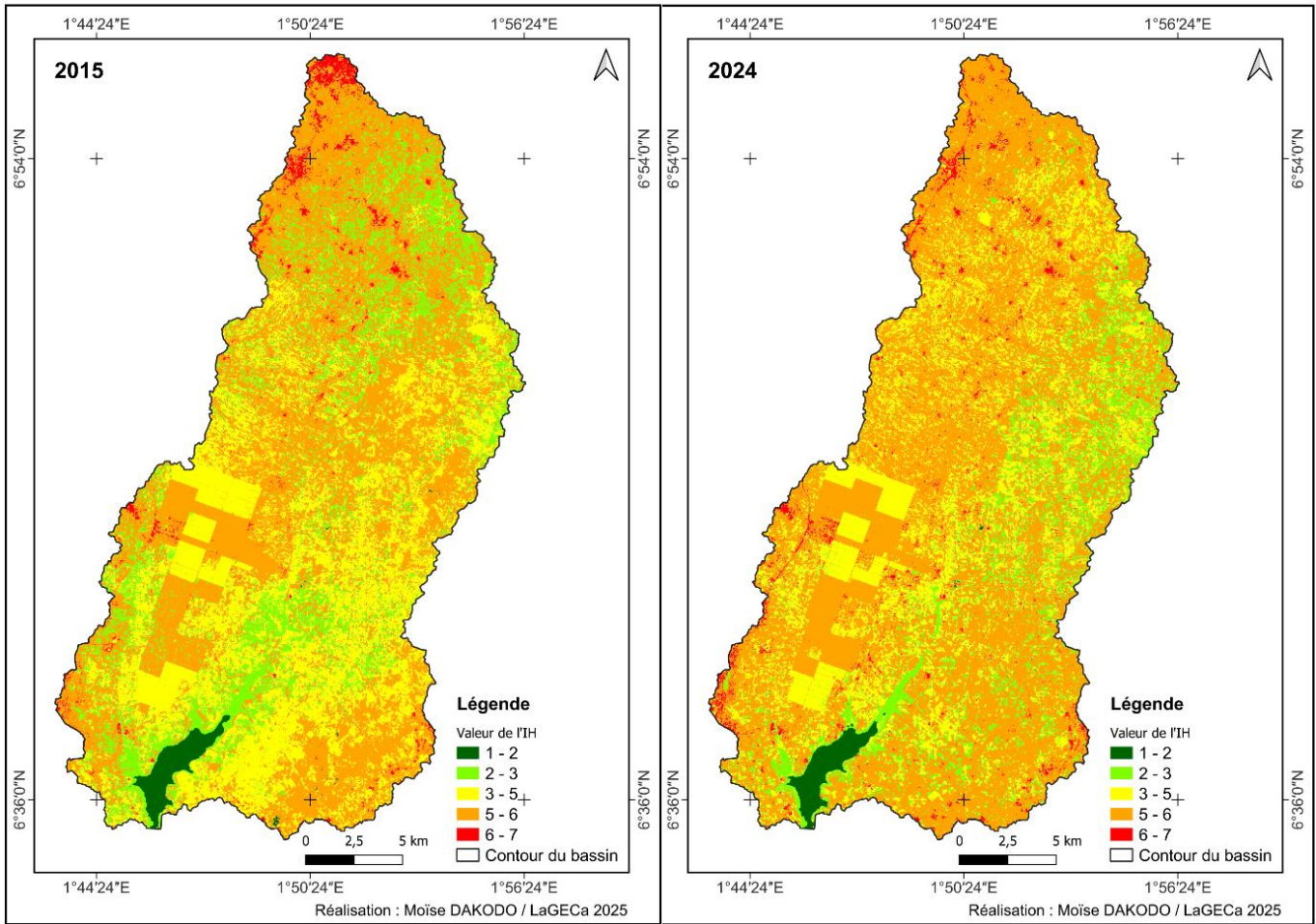


Fig. 7. Cartes d'IH du bassin versant du lac Toho de 2015 et 2024

D'après l'examen de la figure 7 et les statistiques liées aux cartes de l'IH, la moyenne d'IH des deux cartes 2015 et 2024 est respectivement 4,68 et 4,63. L'indice d'hémérobie montre un glissement progressif des milieux naturels vers des formes plus intensément transformées par l'homme, avec des conséquences directes sur la qualité environnementale du bassin et la durabilité de ses services écosystémiques (dégradation des écosystèmes aquatiques, perte de biodiversité, risque accru d'érosion et de ruissellement, perturbation du cycle hydrologique etc.)

5 DISCUSSION

Les résultats obtenus à travers l'analyse des dynamiques d'occupation du sol et de l'indice d'hémérobie dans le bassin versant du lac Toho révèlent des tendances marquées d'anthropisation du bassin versant, confirmant des observations similaires dans d'autres écosystèmes aquatiques tropicaux soumis à des pressions humaines croissantes. La prédominance des activités agricoles (20,76 %) et de la pêche artisanale (48,46 %) identifiées comme principales pressions anthropiques rejoint les conclusions de (Fasona & Omojola, 2009), qui soulignent que l'intensification agricole est un facteur majeur de dégradation des écosystèmes en Afrique de l'Ouest. Ces activités entraînent une modification rapide des paysages, affectant durablement la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Les résultats cartographiques montrent une transformation de certaines classes de l'occupation à savoir: sols nus, les terres agricoles et les zones de l'agglomération au détriment de la forêt galerie et de la forêt et des zones de plantation sur l'ensemble du bassin versant du lac Toho. Les travaux de (Ky-Dembele et al., 2019) confirment ces résultats, où la transformation progressive des milieux naturels au profit de l'agriculture est une dynamique largement observée. La perte importante des forêts galeries et plantations (respectivement - 4,5 % et - 3,9 % par an) confirme une dynamique déjà largement documentée dans les études portant sur l'évolution des zones humides et ripicoles sous pression humaine (Bossa et al., 2014) et (Biah et al., 2024). Cette régression fragilise les fonctions écologiques de ces milieux, notamment la régulation hydrique, la lutte contre l'érosion et le maintien de la biodiversité (Kelder et al., 2013). À cet égard, l'étude de (Lamb et al., 2024) rappelle que les pratiques extractives non contrôlées et l'urbanisation diffuse participent à l'artificialisation des milieux et à l'érosion de la biodiversité. La moyenne l'indice d'hémérobie calculé pour ces deux cartes 2015 et 2024 est respectivement 4,68 et 4,63 et montre un glissement progressif des milieux naturels vers des formes plus intensément transformées par l'homme, avec des conséquences directes sur la qualité environnementale du bassin et la durabilité de ses services écosystémiques. Corrobores les analyses de (Barbier et al., 2007) qui indiquent que les systèmes agroécologiques mal encadrés accentuent la perte des fonctions écologiques fondamentales des paysages tropicaux. Ce résultat est cohérent avec l'augmentation des terres agricoles (+2,72 % par an), confirmant que l'expansion agricole reste l'un des principaux moteurs de l'artificialisation dans les territoires riverains des plans d'eau, comme observé dans d'autres bassins africains (Dwomoh et al., 2019). Selon l'étude de (Wang et al., 2023) sur les corrélations entre la perturbation humaine, le modèle spatial du paysage urbain et la qualité écoenvironnementale, la valeur moyenne d'hémérobie sur l'ensemble de la zone d'étude était de 7,4498, ce qui indique que les activités humaines présentent une large gamme d'interventions sur la qualité écoenvironnementale dans la zone d'étude. Ce décalage entre la moyenne de l'indice d'hémérobie de cette d'étude par rapport à celle de Wang, trouve son origine dans le paradoxe de l'étude qui réside dans le choix du degré de l'indice d'hémérobie sur une échelle 1 à 7. Les résultats obtenus dans le bassin versant du lac Toho illustrent parfaitement, mettant en évidence l'intensification des pressions humaines qui affectent durablement l'intégrité écologique du lac. En effet, la dégradation des habitats naturels causée par la déforestation, l'agriculture intensive et l'urbanisation réduit drastiquement les zones favorables à la reproduction, à l'alimentation et à la migration des espèces aquatiques (Bossa et al., 2014). À cela s'ajoute la pollution des eaux par les engrais, pesticides, déchets solides et autres rejets anthropiques, qui altèrent la qualité des milieux et favorisent l'apparition d'espèces envahissantes ou résistantes, au détriment des espèces sensibles.

6 CONCLUSION

L'étude menée sur le bassin versant du lac Toho met en lumière l'impact croissant des activités anthropiques sur la dynamique d'occupation du sol et la dégradation des écosystèmes aquatiques. Les résultats obtenus montrent que la progression des terres agricoles et des sols nus, combinée à la régression des forêts galeries et plantations, témoigne d'une artificialisation rapide du paysage, accentuée par les pratiques agricoles, la pêche artisanale et, dans une moindre mesure, l'urbanisation.

L'indice d'hémérobie confirme ce glissement progressif vers des milieux de plus en plus transformés par l'homme, avec des conséquences directes sur la qualité des eaux, la biodiversité, et le fonctionnement écologique global du bassin versant. Ces transformations affectent durablement les services écosystémiques, en particulier la régulation hydrique, la qualité des ressources halieutiques et la stabilité des sols.

Face à ces constats, il est impératif d'adopter des approches de gestion intégrée et durable des ressources, incluant la restauration des écosystèmes dégradés, la protection des zones sensibles et le développement de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Cette démarche doit être appuyée par des politiques adaptées, un suivi régulier via des outils géospatiaux et une implication forte des acteurs locaux afin de préserver les fonctions vitales du lac Toho pour les générations futures.

REFERENCES

- [1] Arumugam, M., Niyomugabo, R., Dahdouh-Guebas, F., & Hugé, J. (2021). The perceptions of stakeholders on current management of mangroves in the Sine-Saloum Delta, Senegal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 107160. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107160>.
- [2] Ball, N. (1978). Drought and Dependence in the Sahel. *International Journal of Health Services*, 8 (2), 271-298. <https://doi.org/10.2190/N324-01P6-P6NV-LCQO>.
- [3] Barbier, B., Deybe, D., Alary, V., & Carpentier, C. L. (2007). *Making tropical agriculture more sustainable by using bioeconomic models* [Book_section]. Making World Development Work: Scientific Alternatives to Neoclassical Economic Theory; University of New Mexico Press. <https://agritrop.cirad.fr/542244/>.
- [4] Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.
- [5] Biah, I., Azihou, A. F., Guendehou, S., & Sinsin, B. (2024). Land use/land cover change and carbon footprint in tropical ecosystems in Benin, West Africa. *Trees, Forests and People*, 15, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100488>.
- [6] Bossa, A. Y., Diekkrüger, B., & Agbossou, E. K. (2014). Scenario-Based Impacts of Land Use and Climate Change on Land and Water Degradation from the Meso to Regional Scale. *Water*, 6 (10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/w6103152>.
- [7] Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45 (1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A: 1010933404324>.
- [8] Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37 (1), 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B).
- [9] Dwomoh, F. K., Wimberly, M. C., Cochrane, M. A., & Numata, I. (2019). Forest degradation promotes fire during drought in moist tropical forests of Ghana. *Forest Ecology and Management*, 440, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.014>.
- [10] Fasona, M., & Omojola, A. (2009). Land cover change and land degradation in parts of the southwest coast of Nigeria. *African Journal of Ecology*, 47 (s1), 30-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2008.01047.x>.
- [11] Foody, G. M., & Mathur, A. (2004). A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42 (6), 1335-1343. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.827257>.
- [12] Kelder, Y., Nielsen, T. T., & Fensholt, R. (2013). The role of methodology and spatiotemporal scale in understanding environmental change in peri-urban Ouagadougou, Burkina Faso. *Remote Sensing*, 5, 1465-1483. <https://doi.org/10.3390/rs5031465>.
- [13] Ky-Dembele, C., Dayamba, S. D., Savadogo, P., Kalinganire, A., Bayala, J., Muchugi, A., & Ramni, A. (2019, mars 15). Land use dictates diversity, density and regeneration of woody species in southwestern Mali, West Africa. *CIFOR-ICRAF*. <https://doi.org/10.1007/s42965-019-00015-2>.
- [14] Lalis, A., Leblois, R., Lecompte, E., Denys, C., Meulen, J. ter, & Wirth, T. (2012). The Impact of Human Conflict on the Genetics of *Mastomys natalensis* and Lassa Virus in West Africa. *PLOS ONE*, 7 (5), e37068. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037068>.
- [15] Lamb, I. P., Massam, M. R., Mills, S. C., Bryant, R. G., & Edwards, D. P. (2024). Global threats of extractive industries to vertebrate biodiversity. *Current Biology*, 34 (16), 3673-3684.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.06.077>.
- [16] McFEETERS, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17 (7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- [17] Nyumah, D. S., & Brambilla, M. (2025). Balancing habitat conservation and community livelihoods: An evaluation of community-based wetlands management in the Lake Piso multiple-use nature reserve. *Journal of Environmental Management*, 386, 125740. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125740>.
- [18] Ouedraogo, I., Savadogo, P., Tigabu, M., Cole, R., Odén, P. C., & Ouadba, J.-M. (2009). Is rural migration a threat to environmental sustainability in Southern Burkina Faso? *Land Degradation & Development*, 20 (2), 217-230. <https://doi.org/10.1002/ldr.910>.
- [19] Reij, C., Tappan, G., & Belemvire, A. (2005). Changing land management practices and vegetation on the Central Plateau of Burkina Faso (1968–2002). *Journal of Arid Environments*, 63 (3), 642-659. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.010>.

- [20] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974, janvier 1). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*.
<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>.
- [21] Wang, W., Li, X., Lv, H., & Tian, Y. (2023). What Are the Correlations between Human Disturbance, the Spatial Pattern of the Urban Landscape, and Eco-Environmental Quality? *Sustainability*, 15 (2), Article 2.
<https://doi.org/10.3390/su15021171>.
- [22] Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (3), 583-594.
<https://doi.org/10.1080/01431160304987>.