

# Modélisation spatiale et analyse prédictive du couvert végétal de la forêt classée d'Amou-Mono au Togo (Afrique de l'Ouest)

## Spatial modelling and predictive analysis of vegetation cover of the Amou-Mono classified forest in Togo (West Africa)

Kokou Kokouvi Bruno<sup>1,2,3\*</sup>, Atakpama Wouyo<sup>2,4</sup>, Koffi N'Dere Aoufoh<sup>2,5</sup>, Egbelou Hodabalou<sup>2</sup>, Teteli Clement<sup>1</sup>, Serge Mugisho Mukotanyi<sup>1,6</sup>, Diop Alioune Badara<sup>1</sup>, Yattara Fatoumata<sup>1</sup>, Sédjro David Igor Thierry Kévin Ahouandjinou<sup>1</sup>, Fagnibo Adélaïde Hinhami<sup>7</sup>, Kombate Bimare<sup>2</sup>, Sambieni Kouagou Raoul<sup>1,8</sup>, Jan Bogaert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>École Régionale Postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires tropicaux, Université de Kinshasa, Commune de Lemba, - BP 15.373 – Kinshasa, République Démocratique du Congo

<sup>2</sup>Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale (LBEV), Département botanique, Faculté des sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 01 BP 1515, Lomé 1, Togo

<sup>3</sup>Institut Togolais de Recherche Agronomique/Direction de laboratoire, BP 1163 Lomé, Togo.

<sup>4</sup>West Africa Plant Red List Authority (WAPRLA), IUCN Species Survival Commission, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Switzerland

<sup>5</sup>Institut Nationale de Formation Agricole (INFA) de Tové, Kpalimé, Togo

<sup>6</sup>Faculté de sciences agronomiques et environnement, Université Catholique de Bukavu, BP 285 Bukavu, RD Congo

Research Unit in Microbiology, Microbial Ecology, Water and Soil Conservation (UR- MEMCES), Soil Sciences Laboratory, <sup>7</sup>Faculty of Agricultural Sciences, University of Abomey-Calavi; 01 BP 526, Cotonou, Benin.

<sup>8</sup>Faculté d'Architecture, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, République Démocratique du Congo

\*Auteur correspondant : [kokoubruno7@gmail.com](mailto:kokoubruno7@gmail.com)

### ORCID des auteurs

Kokou Kokouvi Bruno : <https://orcid.org/0009-0006-0852-1232> ; Atakpama Wouyo : <https://orcid.org/0000-0001-7041-918X> ; Egbelou Hodabalou : <https://orcid.org/0009-0003-9252-525X> ; Teteli Clement : <https://orcid.org/0000-0002-5714-2144> ; Serge Mugisho Mukotanyi : <https://orcid.org/0000-0001-5902-9498> ; Diop Alioune Badara : <https://orcid.org/0009-0009-1547-8350> ; Yattara Fatoumata : <https://orcid.org/0009-0005-1467-1811> ; Sédjro David Igor Thierry Kévin Ahouandjinou : <https://orcid.org/0009-0000-5074-1526> ; Fagnibo Adélaïde Hinhami : <https://orcid.org/0009-0000-5530-4835> ; Kombate Bimare : <https://orcid.org/0000-0002-1642-0451> ; Sambieni Kouagou Raoul : <https://orcid.org/0000-0001-5062-0791> ; Jan Bogaert : <https://orcid.org/0009-0007-9596-496X>

**Comment citer article :** Kokou Kokouvi Bruno, Atakpama Wouyo, Koffi N'Dere Aoufoh, Egbelou Hodabalou, Teteli Clement, Serge Mugisho Mukotanyi, Diop Alioune Badara, Yattara Fatoumata, Sédjro David Igor Thierry Kévin Ahouandjinou, Fagnibo Adélaïde Hinhami, Kombate Bimare, Sambieni Kouagou Raoul, Jan Bogaert (2025). Modélisation spatiale et analyse prédictive du couvert végétal de la forêt classée d'Amou-Mono au Togo (Afrique de l'Ouest). *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 5(1), 1-14, e-ISSN (Online) : 2790-3230

### Résumé

La Forêt Classée d'Amou-Mono (FCAM), située dans la région des Plateaux au Togo, constitue une zone humide riche en biodiversité mais soumise à une pression anthropique croissante. Cette étude a pour objectif d'analyser la dynamique spatio-temporelle de l'utilisation des terres entre 1986 et 2021, de simuler les évolutions possibles à l'horizon 2050 et d'identifier les zones prioritaires pour la conservation. Les résultats montrent qu'entre 1986 et 2021, la structure du paysage de la FCAM a été profondément modifiée. Les forêts claires-savanes boisées (53,03 % en 1986) ont régressé pour atteindre 17,07

doi: <https://doi.org/10.59384/recopays.tg5116>

Reçu : 30 mars 2025

Accepté : 15 juin 2025

Publié : 30 juin 2025



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

% en 2021, au profit des champs et jachères (38,10 % en 2021) et des savanes arborées/arbustives (36,92 %). Les forêts denses riveraines sont passées de 30,76 % en 1986 à seulement 5,72 % en 2021. La modélisation spatiale validée (précision globale de 98,38 %) révèle que les principaux facteurs expliquant ces changements sont les réseaux routiers, le gradient altitudinal et l'agriculture. À l'horizon 2050, deux scénarios prospectifs montrent des trajectoires contrastées : dans le scénario d'exploitation, les champs et jachères pourraient occuper jusqu'à 55,49 % de la superficie, et les bâtis/sols nus progresser de 150 %. Dans le scénario d'aménagement, les surfaces forestières pourraient croître de 35 à 74 %, traduisant ainsi une tendance à la restauration écologique. L'analyse spatiale identifie également les zones prioritaires pour la conservation : 25 % au Nord-Ouest se prêtent à des actions de reboisement et de gestion durable des ressources forestières, tandis que 75 % des zones situées à l'Est et au Sud apparaissent moins favorables à la préservation. Cette étude souligne l'urgence de planifier une gestion durable et intégrée de la FCAM, en conciliant les besoins agricoles avec la restauration des écosystèmes forestiers.

**Mots clés :** couverture végétale, conservation, dynamique spatiale ; Amou-Mono, Togo

### Abstract

The Amou-Mono Classified Forest (FCAM), located in the Plateaux region of Togo, represents a wetland area rich in biodiversity but increasingly subjected to anthropogenic pressure. This study aims to analyze the spatio-temporal dynamics of land use from 1986 to 2021, simulate potential changes by 2050, and identify priority areas for conservation. The results show that between 1986 and 2021, the FCAM landscape structure underwent profound transformations. Open forested savannas, which accounted for 53.03% in 1986, declined to 17.07% in 2021, mainly in favor of croplands and fallows (38.10% in 2021) and tree/shrub savannas (36.92%). Riparian dense forests decreased from 30.76% in 1986 to just 5.72% in 2021. Spatial modeling, validated with an overall accuracy of 98.38%, reveals that the main drivers of these changes are road networks, altitudinal gradients, and agriculture. By 2050, two prospective scenarios suggest contrasting trajectories: under the exploitation scenario, croplands and fallows could cover up to 55.49% of the area, and built-up/bare soils could increase by 150%. Under the management scenario, forest areas could increase by 35–74%, indicating a trend towards ecological restoration. Spatial analysis also identifies priority areas for conservation: 25% of the northwestern zone is suitable for reforestation and sustainable forest resource management, whereas 75% of the eastern and southern zones appear less favorable for preservation. This study highlights the urgent need for sustainable and integrated management planning of the FCAM that reconciles agricultural needs with forest ecosystem restoration.

**Keywords:** vegetation cover, conservation, spatial dynamics; Amou-Mono, Togo

## 1. Introduction

L'Afrique est le continent qui enregistre le taux de déforestation le plus élevé au monde, avec une perte estimée à environ 3,9 millions d'hectares de forêts par an entre 2010 et 2020 (FAO, 2021). L'agriculture, l'exploitation des bois d'œuvre, la croissance démographique et les incendies de végétation sont les principales causes de déforestation et de dégradation des forêts (Afelu *et al.*, 2016 ; Atakpama *et al.*, 2019). Ces facteurs empiètent également sur les aires protégées et les forêts communautaires destinées à la préservation de la biodiversité (Dimobe *et al.*, 2015 ; Fousseni *et al.*, 2023 ; Kokou *et al.*, 2023). En plus de leur rôle de protection de la biodiversité, les forêts contribuent à réduire la concentration des gaz à effet de serre (GES) en absorbant le CO<sub>2</sub> (le GES le plus présent) par le phénomène de la photosynthèse et donc à réduire les

conséquences du changement climatique (Puyravaud, 2003 ; Djaouga *et al.*, 2021). Ainsi, la dégradation des écosystèmes forestiers engendre des répercussions majeures sur les activités économiques et le bien-être des populations.

En 2015, les terres forestières couvraient 24,24 % de la superficie totale du Togo (Kokou *et al.*, 2023). Cependant, une grande partie des espaces protégés a été soumise à des activités d'industrialisation visant à répondre aux besoins socio-économiques d'une population en croissance constante (Puyravaud, 2003 ; Fousseni *et al.*, 2023). Dans un contexte où il est nécessaire de concilier développement socio-économique et préservation des écosystèmes forestiers ainsi que de la biodiversité, il devient impératif de renforcer les principes d'utilisation durable des ressources forestières (Dimobe *et al.*, 2012), en veillant à une implication active de l'ensemble des parties prenantes.

En utilisant la modélisation et la simulation spatio-temporelle, l'on comprendra mieux les dynamiques de modification des paysages et de mettre en œuvre une politique de préservation et de gestion durable des écosystèmes forestiers. La modélisation des relations entre les personnes et leur environnement permet d'évaluer les comportements qui en résultent à différentes échelles afin de guider les meilleures décisions d'aménagement (Fousseni *et al.*, 2023 ; Kokou *et al.*, 2023). Ainsi, une étude prospective doit être réalisée en se référant à l'évolution démographique et à la pression anthropique sur les ressources naturelles (formations végétales, sols). La déforestation et la dégradation des forêts ont des impacts importants sur la région des Plateaux du Togo, notamment : perte de biodiversité, érosion des sols, diminution des ressources en eau et réduction des services écosystémiques essentiels. La forêt classée d'Amou-Mono (FCAM) n'échappe pas à cette situation (Kokou *et al.*, 2023). Bien que des actions aient été entreprises pour combattre la dégradation, cette Aire Protégée (AP) est toujours soumise à une forte pression anthropique, ce qui en fait l'une des zones les plus dégradées du pays (Kokou *et al.*, 2023 ; Koffi N'dere *et al.*, 2024). En outre, les données quantitatives sur l'impact de l'anthropisation sur les écosystèmes forestiers dans le but de faciliter la planification des actions de restauration demeurent limitées.

L'objectif de cette étude est de contribuer à la restauration des écosystèmes compromis de la FCAM. Plus précisément, il a été question d'évaluer l'impact des choix de gestion sur la dynamique d'occupation du sol de la FCAM à l'horizon 2050. Par ailleurs, l'interdiction de coupe, l'enrichissement locaux, la surveillance communautaire, et la mise en œuvre de plan d'aménagement forestier reste les mesures de gestion. L'étude apporte une réponse à l'hypothèse selon laquelle il est possible de restaurer les écosystèmes forestiers et la fonction écologique de la FCAM en mettant en place des mesures de protection, d'enrichissement et de semis.

## 2. Milieu et méthodes

### 2.1. Description du milieu d'étude

La FCAM est située dans la zone agro-écologique III du Togo (Ern, 1979 ; Kokou *et al.*, 2023 ; Koffi N'dere *et al.*, 2024). Elle s'étend sur une superficie de 12 780,578 ha et dans les préfectures d'Ogou, Moyen-Mono et Haho entre 1°20,8 E et 1°30,0 E de latitude et entre 7°7,12 N et 7°19 N de longitude (Figure 1). Elle est située entre le canton de Katore au nord, le canton de Gleï au nord-ouest, le canton de Wahala au sud-ouest et le canton d'Ahassomé à l'est. Classée à l'origine par arrêté n° 771 du 21 octobre 1953, la FCAM a été réaffectée de manière consensuelle, puis délimitée et transformée en zone de gestion des ressources naturelles (catégorie VI selon l'IUCN) par arrêté N° 003/MERF/CAB du 02 février 2005.

La région présente un climat soudano-guinéen avec deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Les précipitations sont en moyenne de 1 028,9 mm, avec une température moyenne de 27,6°C et une variation de 5°C (Kokou *et al.*, 2023). Le relief est une plaine avec une altitude inférieure à 400 mètres et des pentes allant de 3 à 8 %. L'écoulement des cours d'eau est influencé par ce relief, notamment par le fleuve Mono situé à l'est et qui constitue une limite naturelle de la FCAM (Kokou *et al.*, 2023). Les rivières Amou, Tchila et Kra sont les principaux affluents. La principale activité économique est l'agriculture. Le maïs, le soja, le riz, le coton, etc... sont les cultures les plus cultivées. A cette activité s'ajoutent l'élevage, l'exploitation des produits de la forêt, la chasse, la pêche, la carbonisation.

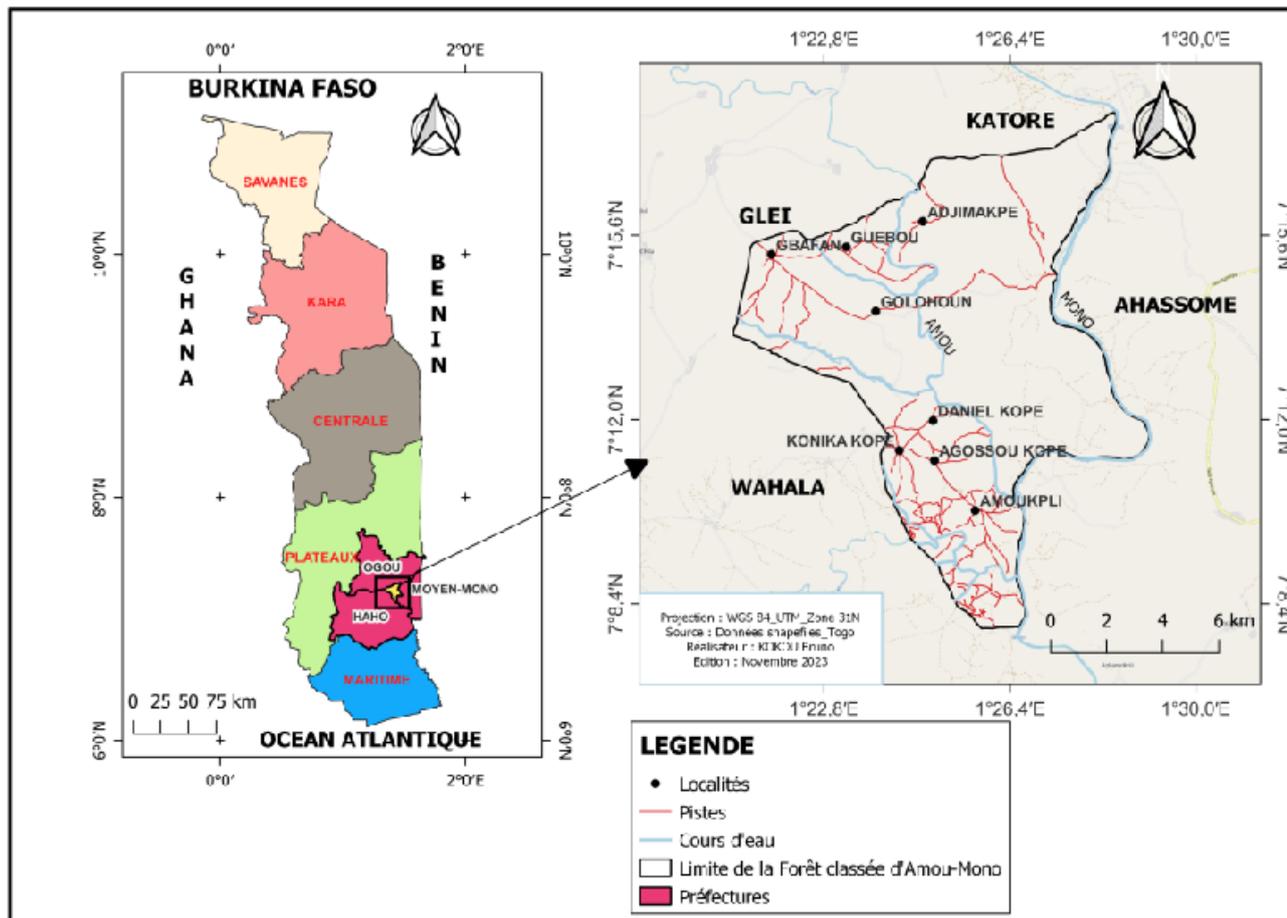
### 2.2. Méthodes

#### 2.2.1 Collecte de données

##### ❖ Cartographie de l'occupation du sol

Les images des capteurs Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI/TIRS ont été utilisées pour étudier la dynamique d'occupation du sol de la FCAM. Les images satellitaires ont été obtenues sur le site de l'USGS (United States Geological Survey) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Les images ont été sélectionnées pour les années 1986, 2000, 2013 et 2021 avec une résolution de 30 m x 30 m. Ces images ont été prises à la saison sèche pour que les variations spectrales entre les éléments de la couverture végétale soient les plus importantes possibles (Koffi N'dere *et al.*, 2024). Dans un premier temps, les images téléchargées ont été classées de manière non supervisée à l'aide du logiciel ENVI 4.7. Une composition colorée basée sur la

fonction K-means avait été utilisée (Diagne *et al.*, 2024; Koffi N'dere *et al.*, 2024). Les bandes 5-4-3 ont été employées pour les images Landsat 5 et les bandes 6-5-4 pour Landsat 7 et 8.



**Figure 1.** Carte de localisation de la zone d'étude

Après avoir effectué cette pré classification, ces images ont été vectorisées à l'aide du logiciel ENVI 4.7, puis importées dans le logiciel QGIS 3.22 pour leur mise en page. Cette classification a permis générer une première cartographie en vue des vérifications de terrain.

❖ **Prédiction des évolutions futures du couvert végétal d'ici 2050**

Dans l'étude des évolutions futures du couvert végétal dans la FCAM, une modélisation prédictive a été réalisée à l'aide du modèle LCM (Land Change Modeler), disponible dans le logiciel IDRISI 17.0. Des tests de validation ont été effectués, notamment l'indice Kappa, pour évaluer la précision des prédictions et analyser les changements d'occupation et d'utilisation des terres (Hannah *et al.*, 2002). Pour cette étude, deux scénarios ont été pris en compte. Le scénario MAGI (Modèle d'Aménagement et de Gestion Intégrée) intègre des transitions favorisant la reforestation, alors que le scénario MDDF (Modèle de Déforestation et de Dégradation des Forêts) privilégie des transitions liées à l'anthropisation. (Figure 2). Les transitions nécessaires à la restauration permettent de favoriser la reconstitution forestière (en référence aux mesures de gestion et d'exploitation à faible impact). L'anthropisation implique des changements qui entraînent la détérioration des forêts et, par conséquent, l'expansion des classes anthropiques.



### a. Restauration

### b. Anthropisation

**Figure 2.** Transitions spécifiées pour les scénarii proposés

FG/R : forêt galerie/ripisylves ; FC/SB : forêt claire/savane boisée ; SA : savane arborée/savane arbustive ; CHJ : champs et jachères et BSN : bâtis et sols nus

## 2.3. Traitement et analyse des données

### 2.3.1 Analyse des images satellitaires

#### ❖ Classification des images

Suite à la mission de terrain, une classification supervisée des images satellitaires a été préconisée. Cette classification a été effectuée à l'aide du logiciel ENVI 4.7, en s'appuyant sur 132 points de vérité terrain. L'algorithme du maximum de vraisemblance a été utilisé pour la classification supervisée. (Puyravaud, 2003 ; Diagne *et al.*, 2024). Au début de la classification, des zones d'apprentissage (ROI – Regions of Interest) ont été définies, puis les différentes classes ont été décrites à partir des données de terrain et des images Google Earth. En utilisant ces zones d'entraînement, le logiciel a appliqué le traitement à l'ensemble de la zone d'étude. Une typologie globale de cinq (5) classes d'occupation du sol a ensuite été établie, en se basant sur le système de classification des unités d'occupation du sol au Togo. (Djaouga *et al.*, 2021 ; Koffi N'dere *et al.*, 2024). Les cinq classes d'occupation du sol identifiées sont : les forêts galerie / denses ; les forêts claires / les savanes boisées ; les savanes arborées / arbustives ; les champs et jachères ; ainsi que les zones bâties / les sols nus. Afin de rendre les images Landsat traitées plus nettes, trois (3) méthodes de filtrage ont été utilisées : les "classes de Sieves" pour éliminer les pixels isolés, les "classes de Clump" pour homogénéiser les classes et l'analyse "majority/minority" pour lisser les classes. Après ces procédures, les images raster ont été converties en vecteurs (Diagne *et al.*, 2024 ; Koffi N'dere *et al.*, 2024). La mise en page des cartes a été effectuée en exportant les images vectorisées dans le logiciel QGIS 3.22. Les tables des attributs des images classifiées ont été exportées au format csv pour calculer les superficies des différentes unités d'occupation du sol.

#### ❖ Précision de la classification

Dans le cadre de la classification, 132 points ont été sélectionnés, dont 5, 11, 31, 20 et 65 points respectivement pour les zones bâties / Sol nus, les Forêts denses/riveraines, les Champs/Jachères, les Forêts claires/Savanes boisées et les Savanes arborées/arbustives sur le total. Les classifications ont été vérifiées en calculant les matrices de confusion des images des différentes dates (Khorram *et al.*, 1999). Il a été considéré que les classifications obtenues sont satisfaisantes en tenant compte des valeurs des indices de précision obtenus pour chacune des périodes concernées (Pham *et al.*, 2007 ; Diagne *et al.*, 2024 ; Koffi N'dere *et al.*, 2024).

### 2.3.2 Analyses des changements d'état de la végétation Prédiction des évolutions futures du couvert végétal dans la forêt classée d'Amou-Mono en 2050

#### ❖ Calibrage et validation

Le calibrage du modèle a été effectué à partir de données cartographiques précédentes (2000 et 2013) pour simuler l'occupation des sols dans la FCAM pour 2021. Le calibrage a favorisé une meilleure concordance entre les sorties du modèle et les données d'ajustement sur les paramètres pris en compte dans le modèle (Pontius, 2000). Les conclusions de cette simulation ont été confrontées à la représentation cartographique de l'occupation du sol réalisée à partir de la classification supervisée annuelle de 2021. Les superficies des différentes classes d'occupation du sol simulées ont été confrontées à celles des superficies observées à l'aide d'un test du chi carré ( $\chi^2$ ) avec un niveau de signification 0,05 afin d'évaluer la similitude avec

les résultats de classification de la carte de référence de 2021 (Leta *et al.*, 2021).

Quatre modules ont été intégrés au processus de modélisation pour assurer une analyse complète des changements d'occupation du sol. Le module de transition a permis d'estimer les probabilités de conversion entre les différentes classes. Le module de prédiction a ensuite simulé l'évolution future des classes d'occupation du sol. Le module de répartition spatiale a permis de localiser ces changements sur la carte, tandis que le module d'évaluation a été utilisé pour valider la précision du modèle en comparant les simulations aux données réelles. Les cartes de référence de 2013 et 2021 ont ainsi été importées dans le logiciel IDRISI pour évaluer les probabilités d'évolution des classes d'occupation du sol à l'horizon 2050. Cette étape a permis de préciser le nombre de classes d'occupation du sol des cartes de référence afin de faciliter leur comparaison automatique et de déterminer les transitions probables. Par la suite, l'incorporation des variables explicatives a été effectuée en se basant sur les informations disponibles. L'anthropisation de la FCAM est influencée par les différents types de sols et les distances aux routes, aux champs et aux agglomérations (Megahed *et al.*, 2015). Finalement, en croisant et en combinant les facteurs explicatifs et les évolutions survenues entre les deux cartes de référence (2013-2021), le modèle génère, à l'aide d'une méthode statistique, des cartes de probabilité des changements potentiels prévus pour les trente prochaines années. Le réseau neuronal a produit ces cartes de probabilité associées à une carte de transition avec les variables explicatives de ces phénomènes (Mishra & Rai, 2016). Chaque type de transition analyse si les zones concernées conservent ou changent de classe entre les deux dates de référence. Ainsi, les modifications sont repérées pour produire une carte prédictive de l'occupation du sol en fonction des deux scénarios.

Cette phase a été effectuée en utilisant un système cellulaire qui reproduit les modifications précédemment identifiées et les répartit dans l'espace. Malgré les limites du « Land Change Modeler », il demeure un outil scientifique puissant et couramment employé pour simuler les variations de la couverture terrestre. Dans leur recherche (Leta *et al.*, 2021), Leta et ses collègues ont utilisé cette méthode pour évaluer la dynamique spatio-temporelle du bassin supérieur du Nil en examinant des images Landsat. La même méthode a été utilisée par Anand & Oinam (Anand & Oinam, 2020) pour prédire la couverture terrestre du bassin du fleuve Manipur (environ 5 063 km<sup>2</sup>). De plus, Hasan et ses collègues (Hasan *et al.*, 2020) ont employé cette méthode dans le Sud de la Chine qui s'urbanise rapidement pour évaluer le changement d'affectation des terres pour les années 2005, 2010 et 2017. L'ensemble de ces recherches confirme que le modèle demeure valide et applicable à cette étude.

#### ❖ Cartographie et détermination des zones prioritaires

Les habitats prioritaires ont été identifiés et classés à l'aide du logiciel Zonation version 4.0 (Moilanen *et al.*, 2011 ; Fenouillas *et al.*, 2020 ; Kokou *et al.*, 2024; Kokou et al., 2025). Les fichiers d'entrée pour ce logiciel, qui est un outil de planification de conservation, ont été obtenus à partir de la modélisation des deux scénarios et de la carte d'occupation des sols de l'année 2021. Le format ASCII a été utilisé pour ces fichiers et est compatible avec le logiciel Zonation (Kokou *et al.*, 2024; Kokou et al., 2025). La représentation graphique a été importée dans le logiciel QGIS afin d'être lissée et mise en page.

### 3. Résultats

#### 3.1. Évolution de la composition du paysage de la FCAM entre 1986 et 2021

Les valeurs de précision globale des classifications à partir des matrices de confusion des pixels sont respectivement de 99,16 % ; 96,57 % ; 98,75 % ; 96,25 % pour les années 1986, 2000, 2013 et 2021. Seulement trois types d'occupation étaient présents dans la FCAM en 1986 : forêts claires-savanes boisées (53,03 %), forêts denses riveraines (30,76 %) et savanes arborées/arbustives (16,21 %). En 2000, les savanes arborées/arbustives (50,09 %) étaient au premier rang, suivies des forêts claires-savanes boisées (23,05 %) et des forêts denses (22,95 %). La représentation des classes de champs/jachères (3,83 %) et des agglomérations-sols nus (0,05 %) étaient faible. Les catégories les plus fréquentes en 2013 sont les classes des savanes arborées/arbustives (42,57 %) et des forêts claires/savanes boisées (28,70 %). De même, les classes de champs/jachères (18,85 %), les Forêts denses/riveraines (9,44 %) et les agglomérations/sols nus (0,44 %) étaient présent. Le paysage était dominé en 2021 par les champs/jachères (38,10 %), suivis des savanes arbustives/savanes arborées (36,92 %). Il y avait 17,07 % de forêts claires/savanes boisées. Les forêts denses/riveraines sont seulement (5,72 %) et les agglomérations/sols nus sont en hausse (4,12 %).

#### 3.2. Construction du modèle de simulation et sa validation

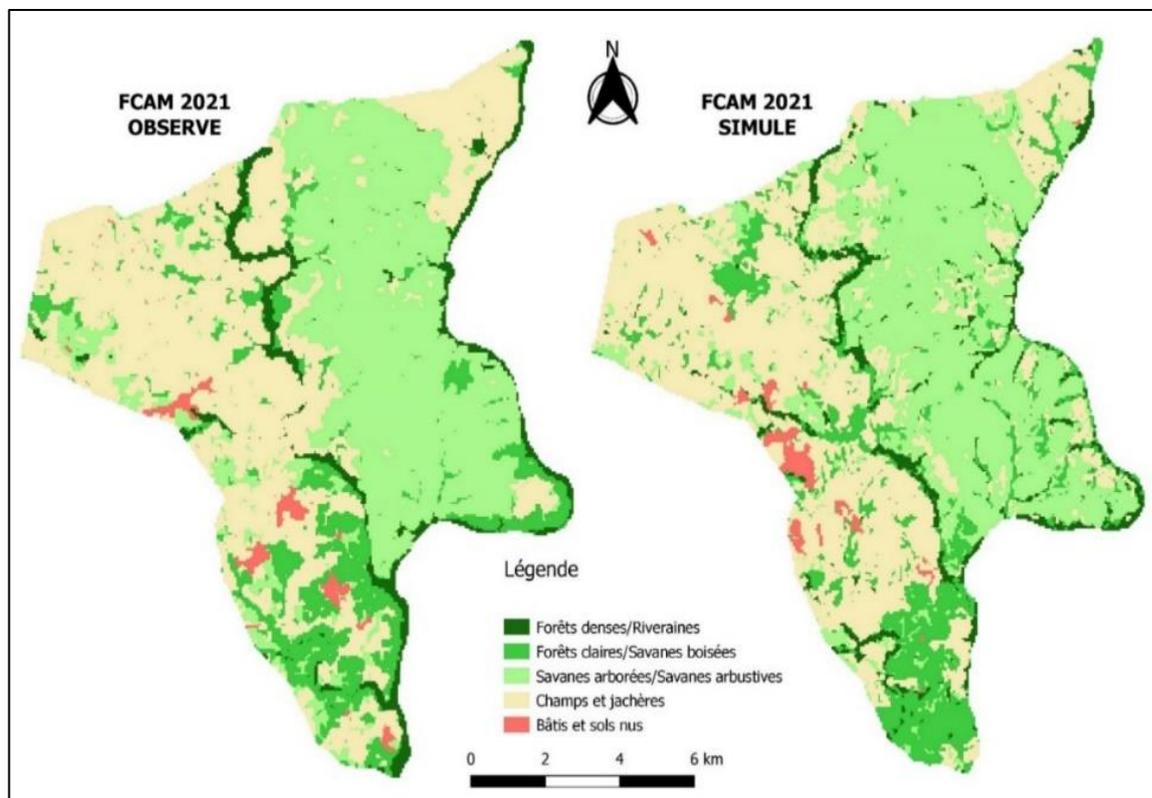
Suite à 10 000 itérations (Figure 4), la précision globale atteint 98,38 %. Les transitions observées sont principalement influencées par les réseaux routiers, suivis du gradient altitudinal et de l'agriculture. La variable la-moins importante est celle des bâtis. La combinaison des cinq variables mentionnées précédemment avaient permis d'atteindre une précision de 98,27 %. Lorsqu'il s'agit uniquement du réseau routier, la précision atteignait 94,84 %. Ces résultats soulignent l'influence significative des voies de communication et de l'agriculture sur les dynamiques observées dans la FCAM.

**Tableau 1.** Précision de la méthode PMC et influence des variables explicatives (FCAM)

Modèle	Variable incluse	Précision (%)	Mesure des compétences
<b>Pour toutes les variables</b>	Toutes les variables	98.38	0.96
<b>Étape 1 : Var [1] constant</b>	[2,3,4,5]	98.27	0.96
<b>Étape 2 : Var [1,2] constant</b>	[3,4,5]	98.38	0.96
<b>Étape 3 : Var [1,2,4] constant</b>	[3,5]	98.22	0.92
<b>Étape 4 : Var [1,2,4,5] constant</b>	[3]	93.31	0.86

Var.1. Bâtis ; Var.2. Agriculture ; Var.3. Réseau routier ; Var.4. Gradient altitudinal ; Var.5. Aspect du terrain ; variables incluses (Variables included) ; précision (accuracy) ; mesure de compétence (skill measure). Les interactions sont appréciées en 5 étapes.

Le graphique 3 illustre une comparaison entre l'occupation du sol résultant du traitement d'images de 2021 et une simulation basée sur les images précédentes (2000 et 2013). Ces deux analyses présentaient des domaines assez similaires, bien que la dissimilarité la plus élevée soit de 6,7 % pour les champs et les jachères. Le test du Chi-deux, réalisé en raison du faible nombre de classes d'utilisation du sol (5), pour évaluer la concordance entre le traitement d'images et la modélisation du couvert végétal en 2021, a révélé une signification statistique élevée ( $p < 0,0001$ ). Ainsi, le modèle a été validé en vue de la prévision du couvert végétal à l'horizon 2050 (Tableau 3).



**Figure 3.** Comparaison visuelle des occupations du sol simulées et observées

**Tableau 2.** Comparaison des superficies classifiées et modélisées pour 2021

Unités	Superficie classifiée en 2021 en ha	en %	Superficie simulée en 2021 en ha	en %	Écart relatif (%)
<b>FD/R</b>	731,06	5,72	720,20	5,64	-1,45
<b>FC/SB</b>	2,181,40	17,07	2,005,63	15,69	-8,07

SA/SA	4,719,13	36,92	4,630,10	36,24	-1,86
CJ	4,869,41	38,10	5,195,09	40,66	6,72
BS	279,35	2,19	225,29	1,76	-19,32
<b>Total</b>	<b>12,780,34</b>	<b>100</b>	<b>12,776,30</b>	<b>100</b>	

FD/R : Forêt dense/riveraine ; FC/SB : Forêt claire/Savane boisée ; SA/SA : Savane arborée/arbustive ; CJ : Champs et jachères ; BS : Bâtis et sol nus.

### 3.3. Simulation de la composition du paysage à l’horizon 2050

L’exactitude des scénarios prospectifs de la FCAM : scénarios d’exploitation et scénarios d’aménagement est de 98,38 %. Le scénario d’exploitation présente une forte influence anthropique, notamment par une expansion importante des champs et des bâtis dans la FCAM. Mais le schéma d’aménagement met en évidence une tendance à la restauration des écosystèmes forestiers, les classes forestières s’étendent considérablement : les forêts claires/savanes boisées deviennent des forêts denses/riveraines (Figure 4).

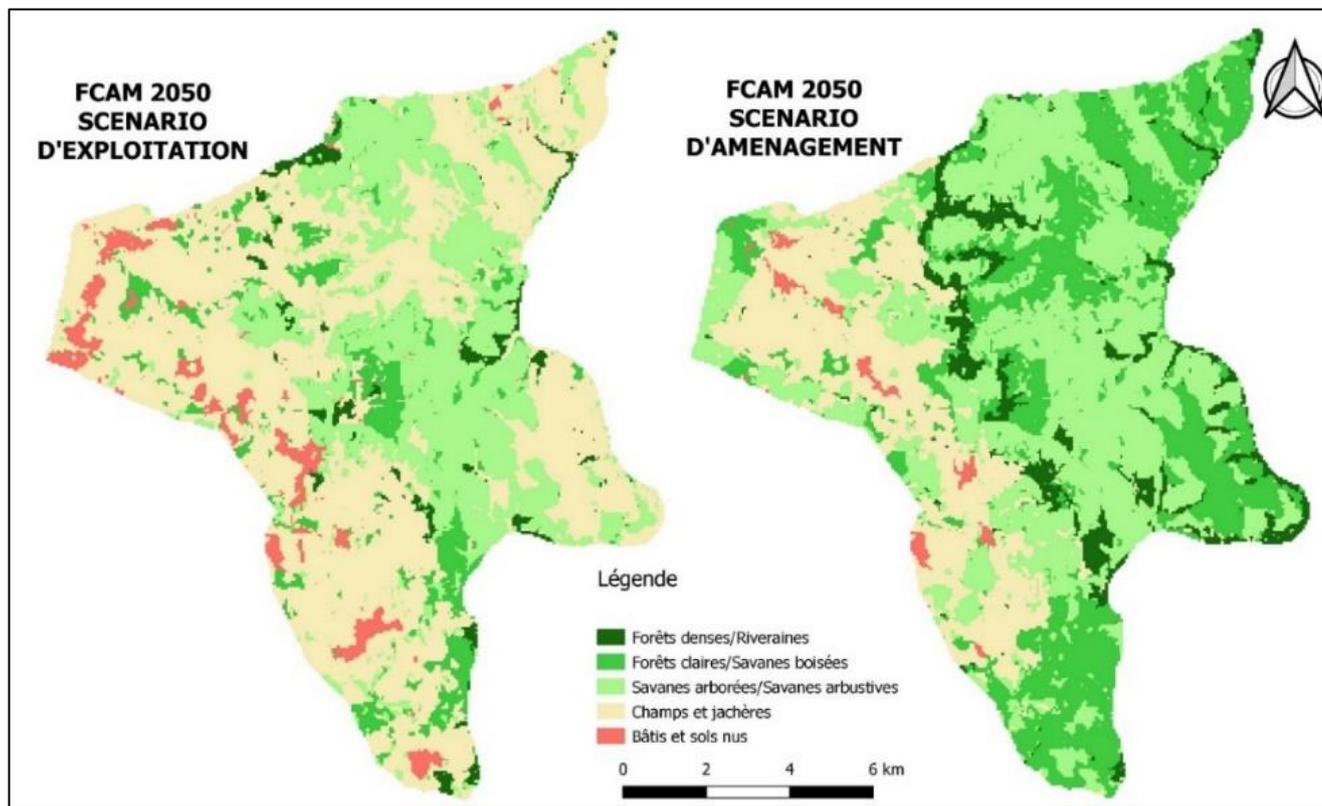


Figure 4. Scénarii prospectifs de l’occupation du sol

La mise en œuvre de la méthode pendant la période 2021-2050 fournit des résultats qui correspondent aux évolutions antérieures et aux paramètres explicatifs pris en compte, dont certains sont fixes et d’autres variables. Selon l’étude du tableau 4, il est observé une baisse des surfaces naturelles par rapport aux profils des surfaces anthropisées. Il a été observé que dans le cas d’une exploitation d’ici 2050, les champs/jachères et les bâtiments/sols nus augmenteront respectivement de plus de 15 % et de 3 %. À la différence des scénarios d’aménagement, les surfaces anthropisées sont en baisse à l’horizon 2050, respectivement de moins de 20 % et de 1 % (tableau 4).

Tableau 3. Évolution estimée des unités d’occupations du sol entre 2021 et 2050 (en scénarii d’exploitation)

Unités	Superficie simulée en 2021		Superficie simulée en 2050 (scénarii d’exploita- tion)		Écart relatif (%)
	en ha	en %	en ha	en %	

<b>FD/R</b>	720,197	5,637	378,550	2,963	-47,435
<b>FC/SB</b>	2,005,630	15,690	1,161,250	9,090	-42,069
<b>SA/SA</b>	4,630,098	36,240	3,582,125	28,039	-22,630
<b>CJ</b>	5,195,090	40,662	7,089,470	55,492	36,472
<b>BS</b>	225,290	1,763	564,230	4,416	150,459
<b>Total</b>	12,776,305	100	12,775,625	100,000	-

FD/R : Forêt dense/riveraine ; FC/SB : Forêt claire/Savane boisée ; SA/SA : Savane arborée/arbustive ; CJ : Champs et jachères ; BS : Bâtis et sol nus.

Tableau 4 : Évolution estimée des unités d'occupations du sol entre 2021 et 2050 (en scénarii d'aménagement)

Unités	Superficies simulée en 2021		Superficie simulée en 2050 (scénario d'aménagement)		Écart relatif (%)
	en ha	en %	en ha	en %	
<b>FD/R</b>	720,197	5,637	975,716	7,636	35,469
<b>FC/SB</b>	2,005,630	15,690	3,480,077	27,236	73,589
<b>SA/SA</b>	4,630,098	36,240	5,440,651	42,581	17,497
<b>CJ</b>	5,195,090	40,662	2,705,079	21,171	-47,934
<b>BS</b>	225,290	1,763	175,747	1,375	-21,997
<b>Total</b>	12,776,305	100	12777,27	100,000	

FD/R : Forêt dense/riveraine ; FC/SB : Forêt claire/Savane boisée ; SA/SA : Savane arborée/arbustive ; CJ : Champs et jachères ; BS : Bâtis et sol nus.

### 3.4. Zones prioritaires à la restauration

L'analyse spatiale présentée dans la figure 5 a mis en évidence la répartition des zones prioritaires pour la conservation et la gestion durable des ressources forestières. Les résultats ont indiqué que la région du Nord-Ouest concentre environ 25 % des superficies considérées comme hautement favorables aux activités de restauration écologique, notamment le reboisement, la culture forestière durable et la régénération naturelle assistée. En contraste, les zones situées à l'Est et au Sud, qui représentent collectivement environ 75 % de la superficie étudiée, apparaissent peu aptes à soutenir des interventions efficaces de reforestation ou de conservation. Par ailleurs, il ressort de cette analyse que seulement 15 % de l'écosystème cartographié présente actuellement un niveau de conservation suffisant pour justifier des actions immédiates de valorisation écologique. Les formations végétales les plus affectées sont constituées essentiellement de savanes dégradées et de zones agricoles extensives, dans lesquelles la perte de diversité floristique est marquée.

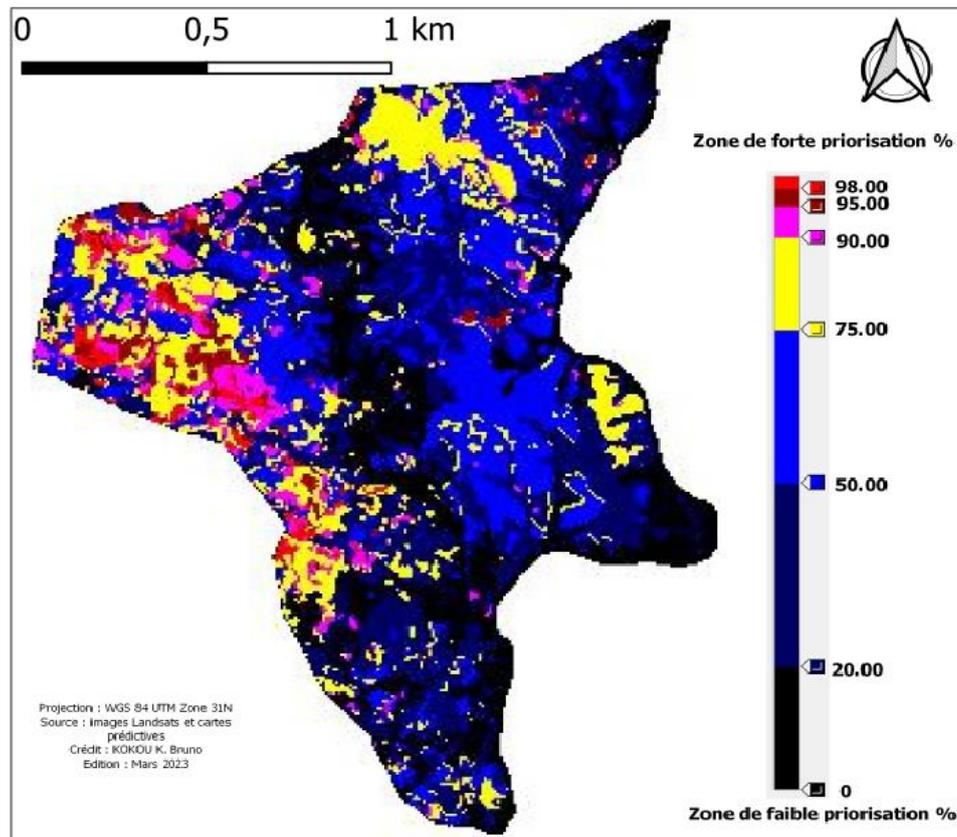
## 4. Discussion

### 4.1. Occupation du sol

La cartographie de l'occupation des sols à l'aide des classifications d'images satellitaires Landsat MSS, ETM+ et OLI TIRS, associée à une vérité terrain, a été extrêmement significative (Tchamiè, 1996 ; Kokou *et al.*, 2023). Selon Khorram *et al.* (1999) et Pham *et al.* (2007), les études ont révélé des valeurs d'exactitude des classifications relativement faibles, avec respectivement 61 % et 51 %. La raison de cette disparité serait que les points de contrôle sur le terrain ne sont pas collectés pour les vérifications et la validation des cartes pré classifiées. Cela souligne l'importance de connaître le milieu et d'acquérir des données auxiliaires afin d'améliorer la qualité des traitements d'images (Diagne *et al.*, 2024 ; Koffi N'dere *et al.*, 2024). Ces résultats similaires à ceux obtenus par O'Neill *et al.* (1988), dans leur étude sur l'utilisation de la télédétection et des SIG pour évaluer les mares temporaires dans la province de Ben Slimane au Maroc. La classification est moins précise lorsque les unités cartographiques sont plus petites qu'un pixel et difficiles à repérer (Barima *et al.*, 2009).

Grâce aux classifications réalisées, il a été possible de différencier des formations mixtes (champs/jachères et bâtis/sols nus) qui pourraient être sujettes à des confusions en raison de réponses spectrales relativement similaires (N'Guessan *et al.*, 2006). L'ampleur régressive des formations naturelles est visible sur les différentes cartes d'occupation du sol. La dynamique de régression des écosystèmes forestiers boisés (forêts denses et forêts claires) est très marquée dans la matrice de transition entre les différentes classes d'occupation du sol. La diminution de cette tendance est causée par la transformation des forêts denses/riveraines et des savanes boisées en savanes, champs, jachères et bâtis. La dynamique de la dégradation du couvert végétal observée pourrait principalement être attribuée à un niveau élevé d'anthropisation et de fragmentation des activités

humaines. On observe une tendance à la régression de la dynamique de la végétation dans les aires protégées du Togo et de la sous-région (Dimobe *et al.*, 2017 ; Djaouga *et al.*, 2021 ; Kombate *et al.*, 2023 ; Kombate *et al.*, 2024).



**Figure 5.** Aptitude des zones prioritaires pour les actions de reboisement et de protection

#### 4.2. Cartographie prédictive du couvert végétal de la FCAM en 2050

La réussite de la gestion de l'espace suppose la mise en place d'un plan de gestion fondé sur une prospective territoriale (Assoma *et al.*, 2021). La cartographie prédictive permet d'envisager les utilisations potentielles des terres à l'avenir pour évaluer la durabilité des ressources (Dar *et al.*, 2020 ; Dixon *et al.*, 2021). Dans la FCAM, une telle méthode a été utilisée pour reconstituer l'occupation du sol entre 2000, 2013 et 2021, dans le but de prédire celle de 2050. Le modèle LCM employé dans cette optique a été considéré comme statistiquement efficace (Chen *et al.*, 2019). Il y a donc quelques différences dans la répartition spatiale des unités d'occupation du sol. Les surfaces sont généralement similaires à celles de la classification et de la simulation. Cela suggère une fiabilité assez élevée du modèle (Thierry *et al.*, 2018). Les scénarios élaborés pour la FCAM se réfèrent au scénario BAU (business as usual) et au scénario de préservation des forêts. La croissance démographique pourrait expliquer l'augmentation des surfaces des champs et des jachères ainsi que des agglomérations dans le scénario BAU. L'augmentation de la population entraîne directement l'expansion des terres agricoles afin de répondre à la demande en nourriture et à d'autres besoins essentiels, ainsi que l'expansion des zones aménagées et des réseaux routiers. Les besoins ont été et demeurent les principales raisons de la détérioration des écosystèmes forestiers. Cela est confirmé par de nombreuses recherches précédentes sur la dynamique de la végétation (Thierry *et al.*, 2018 ; Kombate *et al.*, 2022).

Le niveau de satisfaction de la comparaison de la simulation avec la classification de 2021 est crucial pour évaluer la fiabilité de la prédiction de l'occupation du sol dans cette recherche. En 2050, la couverture terrestre obtenue suggère que la végétation occupera environ 75 % de la superficie totale de la FCAM, à peu près comme en 2021. Cela suggère que le couvert végétal sera probablement stable à l'avenir. Une croissance continue des forêts denses/riveraines sera observée. Toutefois, la réduction des surfaces se fera très lentement. Ce scénario ne pourra être réalisé que si la croissance démographique est maîtrisée (Brun *et al.*, 2018) et si l'intensité des activités socio-économiques est contrôlée (Munishi (Munishi & Jewitt,

2019). La mise en place de telles hypothèses requiert une politique stratégique assez rigoureuse et soigneusement élaborée. Il faudrait également mettre en place des actions de gestion durable des ressources dans la zone d'étude (Ilboudo *et al.*, 2020). Il est essentiel de réguler la collecte des produits forestiers ligneux et non ligneux dans la réserve par les populations locales (Vodouhe *et al.*, 2016). La mise en œuvre de mesures de gestion durable et de préservation du potentiel actuel serait judicieuse (Dossou-Yovo *et al.*, 2022). Il est donc essentiel de prendre des mesures pour restaurer les écosystèmes dégradés et préserver les reliques existantes.

Si une anthropisation s'opérait, environ 30 % de la végétation de la FCAM serait endommagée. La perte s'expliquerait par la forte demande de terres agricoles et de bâtis. Ceci confirme les travaux de (Samie *et al.*, 2017 ; Brun *et al.*, 2018) sur le Punjab, une province pakistanaise, qui expliquent la demande croissante de terres cultivées et de constructions en raison de l'accroissement de la population (Folega *et al.* 2023). Le scénario catastrophique/anthropisation prévoit que les formations végétales naturelles cèdent la place à celles anthropisées. Ces projections sont en accord avec celles (Munishi & Jewitt, 2019 ; Osseni *et al.*, 2022) qui ont étudié la dynamique future du bassin Volta de l'Ouémé au Bénin, avec une prévision pour 2035. Selon ses recherches, Oloukoi (2017) a mis en évidence les mêmes prévisions pour la même zone, mais à l'avenir. Selon Orékan *et al.* (2007), en utilisant le modèle Clue's, il est prévu que d'ici 2025, de grandes zones forestières disparaîtront dans la région centrale du Bénin, permettant ainsi la création de mosaïques de cultures et de jachères. La durabilité environnementale coordonnée est un concept qui combine à la fois la préservation de la biodiversité et les activités agricoles. Elle attribue à l'État la maîtrise de la déforestation et la subvention du gaz domestique, ainsi que celle de l'utilisation des foyers améliorés pour remplacer le bois-énergie. Cette approche est similaire à celle proposée par Lajoie & Hagen-Zanker (Brun *et al.*, 2018) qui favorise la conservation des forêts et restreint l'expansion urbaine dans l'île de la Réunion d'ici 2031.

Les zones qui nécessitent des actions de reboisement sont les zones où l'activité humaine est très intense. L'intervention dans ces régions permettrait de rétablir l'écosystème déjà présent. Après avoir examiné cette carte, il ressort que plus de 40 % du paysage est réservé à la préservation. Ces résultats pourraient favoriser une meilleure évaluation des zones à restaurer. Cela est motivé par le fait que les variations climatiques pourraient entraîner une évolution spatiale de la répartition géographique des habitats propices aux espèces, ce qui pourrait entraîner une diminution de la valeur des régions favorables à l'avenir (Hannah *et al.*, 2002).

## Conclusion

Les résultats de notre étude montrent que le couvert végétal de la Forêt Classée d'Amou-Mono (FCAM) est actuellement composé de forêts denses et riveraines, de forêts claires et savanes boisées, de savanes arborées et arbustives, ainsi que de champs, jachères et zones bâties ou de sols nus. Les simulations réalisées à partir de l'évolution de l'occupation des sols entre 1986, 2000, 2013 et 2021 ont permis d'anticiper les changements prévisibles à l'horizon 2050. Ces projections indiquent, selon les scénarios considérés, une importante dégradation des formations végétales naturelles, ou une amélioration modeste dans le cas de scénarios favorisant la restauration écologique. L'utilisation du modèle LCM a permis de quantifier les changements et de mettre en évidence des tendances claires : une diminution progressive des espaces naturels et une augmentation des zones agricoles et anthropisées. Le maintien des pratiques actuelles d'exploitation des ressources naturelles laisse craindre une progression significative de l'anthropisation à l'horizon 2050. Les principaux facteurs identifiés dans cette dynamique incluent l'agriculture extensive, l'exploitation du bois pour le chauffage ou l'artisanat, ainsi que la variabilité climatique. Cette situation souligne la nécessité d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies de gestion durable des ressources végétales et des sols afin de limiter la perte de biodiversité et la dégradation des écosystèmes forestiers. L'adoption de telles mesures pourrait inverser ces tendances et permettre la régénération des formations végétales naturelles, en améliorant les perspectives de conservation. Enfin, nos résultats suggèrent que la dynamique d'occupation des sols mérite d'être approfondie en intégrant les variables socio-économiques et géomorphologiques. Une telle approche permettrait de mieux identifier les moteurs des changements et de construire des scénarios prospectifs plus robustes et pertinents. Le développement de modèles prédictifs intégrant ces dimensions serait un outil précieux pour affiner la compréhension des trajectoires d'occupation des sols et orienter efficacement les stratégies d'aménagement et de gestion durable de la FCAM.

## Remerciement

L'Union européenne (UE)/AGRINATURA a financé entièrement cette étude dans le cadre du programme « Gestion durable des écosystèmes tropicaux, fondée sur la connaissance ». Nous exprimons notre gratitude sincère envers l'École Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrées des Forêts et Territoires tropicaux (ERAIFT) pour l'organisation des cours ; au Pr Baudouin MICHEL, Directeur de l'ERAIFT ; au Pr Jean-Pierre MATE, Secrétaire Académique et à la Recherche pour toutes les ressources mises en œuvre pour la réalisation de cette étude. Nous remercions le Pr Jean-Paul

RUDANT pour ses conseils et orientations, ainsi que le Ministère de l'Environnement du Togo pour avoir autorisé l'accès à la Forêt Classée d'Amou-Mono, facilité et soutenu les équipes lors des recherches. Au Ministère de l'Enseignement Supérieur du Togo pour le soutien financier. Enfin, nous exprimons notre gratitude envers toutes les personnes qui ont parcouru cet article et ont contribué à son amélioration.

### Références

- Afelu B., Fontodji K. J., Kokou K., 2016.** Impact des feux sur la biomasse dans les savanes guinéo-soudaniennes du Togo. *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, **16**(1).
- Anand V., Oinam B., 2020.** Future land use land cover prediction with special emphasis on urbanization and wetlands. *Remote Sensing Letters*, **11**(3): 225-234.
- Assoma V. T., Yao N. A., Dio J. S., Jourda J.-P., 2021.** Apport de la télédétection et d'un SIG à la cartographie des changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la Lobo en Côte d'Ivoire. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*(Volume 16): 107-126.
- Atakpama W., Amegnaglo K. B., Afelu B., Folega F., Batawila K., Akpagana K., 2019.** Biodiversité et biomasse pyrophyte au Togo. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, **19**(3).
- Barima Y. S. S., Barbier N., Bamba I., Traoré D., Lejoly J., Bogaert J., 2009.** Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois & Forêts Des Tropiques*, **299**: 15-25.
- Brun L., E, Djego J., Gibigaye M., Tente B., 2018.** Dynamique de l'occupation du sol dans les zones humides de la commune d'Allada au Sud-Bénin (Sites Ramsar 1017 Et 1018). *European Scientific Journal*, **14**(2): 59-77.
- Chen J. M., Ju W., Ciaisi P., Viovy N., Liu R., Liu Y., Lu X., 2019.** Vegetation structural change since 1981 significantly enhanced the terrestrial carbon sink. *Nature communications*, **10**(1): 4259.
- Dar S. A., Bhat S. U., Rashid I., Dar S. A., 2020.** Current status of wetlands in Srinagar City: Threats, management strategies, and future perspectives. *Frontiers in Environmental Science*, **7**: 199.
- Diagne A., Kokou Kokouvi Bruno, Ndiaye Bineta, DiopAlioune Badara, Cissé Ousmane, Niang Amsa-tou, Fall Birahim, Diouf Youssoupha, Ismaïla N., Fall Awa, Sambieni Kouagou Raoul, Justin A. A. Y., 2024.** Dynamique spatiale et temporelle de l'occupation de sol de la forêt classée de Bandia au Sénégal entre 2000 et 2020. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, **4**(2): 1-17.
- Dimobe K., Forkuor G., Goetze D., Wala K., Ouédraogo A., Poremski S., Thiombiano A., 2017.** Spatio-temporelle dynamics in land use and habitat fragment within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savana of west africa. *Journal of Landscape Ecology*, **10**(1): 75-95
- Dimobe K., Ouédraogo A., Soma S., Goetze D., Poremski S., Thiombiano A., 2015.** Identification of driving factors of land degradation and deforestation in the Wildlife Reserve of Bontioli (Burkina Faso, West Africa). *Global Ecology and Conservation*, **4**: 559-571.
- Dimobe K., Wala K., Batawila K., Dourma M., Woegan Y. A., Akpagana K., 2012.** Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*(Hors-série 14).
- Dixon A., Wood A., Hailu A., 2021.** Wetlands in Ethiopia: lessons from 20 years of research, policy and practice. *Wetlands*, **41**(2): 20.
- Djaouga M., Arouna O., Zakari S., Kouta S., Moumouni Y. I., Mertens B., Imorou I. T., Thomas O., 2021.** Cartographie de la déforestation dans le département de l'Alibori (nord du Bénin) grâce aux images satellitaires SPOT. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, **223**(1): 200-216.
- Dossou-Yovo H. O., Vodouhè F. G., Kaplan A., Sinsin B., 2022.** Application of ethnobotanical indices in the utilization of five medicinal herbaceous plant species in Benin, West Africa. *Diversity*, **14**(8): 612.
- Ern H., 1979.** Die vegetation togos. gliederung, gefährdung, erhaltung. *Willdenowia*: 295-312.
- FAO, 2021.** Évaluation des ressources forestières mondiales 2020 : principaux résultats. *Rome, Italy : FAO*, **184 p.**
- Fenouillas P., Rouget M., Amy E., 2020.** Priorisation spatiale des actions de gestion des plantes exotiques envahissantes: une étape-clé de la conservation à long terme des milieux naturels à la Réunion. Version 1.
- Folega, F., Kanda, M., Fandjinou, K., Bohnett, E., Wala, K., Batawila, K., & Akpagana, K. (2023).** Flora and typology of wetlands of Haho River Watershed, Togo. *Sustainability*, **15**(3), 2814.
- Fousseni F., Bilouktime B., Mustapha T., Kamara M., Wouyo A., Aboudoumisamilou I., Oyetunde D., Kperkouma W., Komlan B., Koffi A., 2023.** Land Use Change and the Structural Diversity of Affem Boussou Community Forest in the Tchamba 1 Commune (Tchamba Prefecture, Togo). *Conservation*, **3**(3): 346-362.

- Hannah L., Midgley G.F, D. M., 2002.** Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, **11**(6): 485-495.
- Hasan S., Shi W., Zhu X., Abbas S., Khan H. U. A., 2020.** Future simulation of land use changes in rapidly urbanizing South China based on land change modeler and remote sensing data. *Sustainability*, **12**(11): 4350.
- Iboudo A., Soulama S., Hien E., Zombre P., 2020.** Perceptions paysannes de la dégradation des ressources naturelles des bas-fonds en zone soudano-sahélienne: cas du sous bassin versant du Nakanbé-Dem au Burkina Faso. *International journal of Biological and Chemical sciences*, **14**(3): 883-895.
- Khorrarn S., Biging G., Chrisman N., Colby D., Congalton R. G., Dobson J., Ferguson R., 1999.** Accuracy assessment of remote sensing-derived change detection: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Koffi N'dere A., Kokou K. B., Atakpama W., Kombate B., Egbelou H., Kanda M., Sambieni K. R., Batawila K., 2024.** Empreinte anthropique sur la dynamique des écosystèmes de la forêt classée d'Amou-Mono au Togo. *Revue Nature et Technologie*, **16**(1): 51-62.
- Kokou, B. K., Ulemu, M., Atakpama, W., Biaou, S., Teteli, S. C., Raoul, S. K., ... & Noulèkoun, F. (2025).** Climate change reduces and shifts suitable habitats of *Uapaca kirkiana* Müll. Arg. to higher altitudes in Malawi. *Trees, Forests and People*, 100884.
- Kokou B. K., Salumu P. K., Balde I., Nababi J., Lufungula G. A., Teteli C., Wanjala F. P., Ulemu M., Mavuto T., Munyenembe P., 2024.** Modelling the Current and Future Spatial Distribution Area of *Adansonia digitata* L. in the Context of Climate Change in Malawi (Southern Africa). *Journal of Agricultural Science*, **16**(9): 1-41.
- Kokou K., Atakpama W., Kombate B., Egbelou H., Koffi N., Elangilangi M., Batawila K., (2023).** Dynamique et modélisation du stock de carbone de la Forêt Classée d'Amou-Mono au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, **3**: 1-16.
- Kombate B., Atakpama W., Egbelou H., Ahuide K., Dourma M., Folega F., Batawila K., Akpagana K., 2023.** Dynamique de l'occupation de sol et modélisation du carbone de la Forêt Communautaire d'Alibi 1. *Annales de la Recherche Forestière en Algérie*, **12**: 13-26.
- Kombate B., Atakpama W., Egbelou H., Yandja M., Bawa A., Dourma M., Batawila K., Akpagana K., 2022.** Structure and modeling of forest carbone of the classified forest of Missahohoé in Togo. *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences*, **6**(1): 42-61.
- Kombate B., Atakpama W., Klevor K. J. A., Egbelou H., Kanda M., Dourma M., Batawila K., Akpagana K., 2024.** Feu de végétation entraîne la dégradation et la déforestation du Parc National Fazao-Malfakassa (PNFM) au Togo. *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences*, **7**(1): 218-229.
- Leta M. K., Demissie T. A., Tränckner J., 2021.** Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (Lcm) in nashe watershed, upper blue Nile basin, Ethiopia. *Sustainability*, **13**(7): 3740.
- Megahed Y., Cabral P., Silva J., Caetano M., 2015.** Land cover mapping analysis and urban growth modelling using remote sensing techniques in Greater Cairo Region—Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **4**(3): 1750-1769.
- Mishra V. N., Rai P. K., 2016.** A remote sensing aided multi-layer perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), India. *Arabian Journal of Geosciences*, **9**: 1-18.
- Moilanen A., Arponen A., Leppänen J., Meller L., Kujala H., 2011.** Zonation: Spatial conservation planning framework and software version 3.0 user manual.
- Munishi S., Jewitt G., 2019.** Degradation of Kilombero valley Ramsar wetlands in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, **112**: 216-227.
- N'Guessan E., N'Da H., Dibi,, Bellan M.-F., Blasco F., 2006.** Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire: apport de la télédétection. *Télédétection*, **5**: 307-323.
- O'Neill R. V., Krummel J. R., Gardner R. e. a., Sugihara G., Jackson B., DeAngelis D., Milne B., Turner M. G., Zygmunt B., Christensen S., 1988.** Indices of landscape pattern. *Landscape ecology*, **1**: 153-162.
- Oloukoi J., 2017.** Rate of land cover change and its determinants in the soudano-guinea transition zone of Benin Republic. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, **10**(5): 691-704.
- Orékan V., Thamm H., Menz G., Sinsin B., 2007.** Modélisation de la dynamique du couvert végétal et de l'utilisation des terres dans l'Ouémé Supérieur à partir du modèle CLUE-S: quelles leçons tirer?
- 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.
- Pham T. T. H., Bonn F., Dubois J.-M., 2007.** Démarche méthodologique pour la détection des changements d'un milieu morcelé en utilisant des images à moyenne résolution spatiale: application à une région littorale au Viêt-Nam. *Télédétection*, **7**(5): 302-323.

- Pontius R. G., 2000.** Comparison of categorical maps. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **66**: 1011-1016.
- Puyravaud J. P., 2003.** Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, **177**(1-3): 593-596.
- Samie A., Deng X., Jia S., Chen D., 2017.** Scenario-based simulation on dynamics of land-use-land-cover change in Punjab Province, Pakistan. *Sustainability*, **9**(8): 1285.
- Tchamiè T. T. K., 1996.** Aires protégés du Togo : nécessité d'une redéfinition des stratégies de conservation et de protection de la faune. *Bull. Flamboyant*, **39**: 12-15.
- Thierry A., Paegelow M., Ismaïla T. I., Brice T., 2018.** Modélisation des changements d'occupation des terres en région Soudanienne au Nord-Ouest du Benin. *European Scientific Journal*, **14**(12): 248-266.
- Vodouhe F. G., Dossou-Yovo H. O., Chadaré F. J., Gélinas N., Assogbadjo A. E., Coulibaly O., 2016.** Valuing the potential of non-timber forest products in financial valuation of savannah formation in Sudanian Region. *Universal Journal of Agricultural Research*, **4**(5): 183-197.