

## **Dynamique Passée et Récente et Prédiction de L'occupation du Sol: cas du Bassin Versant de la Lobo (Centre – ouest de le Côte d'Ivoire)**

***N'Guessan Bi Vami Hermann, PhD***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire  
Centre Universitaire de Recherche et d'Application  
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire

***Allechy Fabrice Blanchard, MA.***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire  
***Youan Ta Marc, PhD***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire  
Centre Universitaire de Recherche et d'Application  
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire

***Yapi Assa Fabrice, MA***

***Saley Mahaman Bachir, PhD***

***Kouadio Affian, PhD***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n33p33](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p33)

---

Submitted: 26 October 2021

Accepted: 05 October 2022

Published: 31 October 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Hermann N.B.V., Blanchard A.F., Marc Y.T., Fabrice Y.A., Bachir S.M. & Affan K. (2021). *Dynamique Passée et Récente et Prédiction de L'occupation du Sol: cas du Bassin Versant de la Lobo (Centre – ouest de le Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (33), 33. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p33>

---

### **Résumé**

Le développement agricole et la forte croissance démographique ont contribué à la perte du couvert forestier ivoirien. L'objectif de cette étude est d'analyser l'évolution passée (1986 à 2019) et de prédire (2019 à 2050) l'occupation des sols dans le bassin versant de la Lobo. La classification supervisée par maximum de vraisemblance des images landsat de 1986, 2003 et 2019, couplée à la méthode *intensity analysis* a été appliquée dans cette étude. Les résultats montrent sur la période de 1986 à 2019 une baisse de la végétation de 4708,82 km<sup>2</sup> à 4054,72 km<sup>2</sup> au détriment de l'augmentation de la mosaïque des cultures et jachères de 6376,56 km<sup>2</sup> à 6925,05 km<sup>2</sup>. Les plans

d'eau et sols nus et bâtis ont également augmenté respectivement de 3,73 km<sup>2</sup> et 101,88 km<sup>2</sup>. Par contre, les aires protégées sont restées inchangées avec une superficie de 1516,13 km<sup>2</sup>. Les changements des classes d'occupation du sol par *intensity analysis* ont été lent au premier intervalle de temps (1986-2019) mais s'accélèrent au deuxième intervalle de temps (2019 à 2050). La mosaïque des cultures et jachères et la végétation ont connu respectivement des pertes de superficies moins intenses et plus intense, tandis que les autres classes ont gagné intensément de superficies durant le premier intervalle de temps. Pendant le deuxième intervalle de temps, seuls les plans d'eau et la mosaïque des cultures et jachères connaîtront des intensités de gains de superficies moins intenses. Il n'y a pas eu de transition des autres classes vers la végétation et la mosaïque des cultures sur toute la période d'étude (1986 à 2050)

---

**Mots-clés:** Occupation du sol, maximum de vraisemblance, intensity analysis, chaînes de Markov, bassin versant de la Lobo

## **Past and Recent Dynamics and Prediction of Land Use: Case of the Lobo Watersher (West-cemntral Cote d'Ivoire)**

***N'Guessan Bi Vami Hermann, PhD***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire  
Centre Universitaire de Recherche et d'Application  
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire

***Allechy Fabrice Blanchard, MA.***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire  
***Youan Ta Marc, PhD***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire  
Centre Universitaire de Recherche et d'Application  
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire

***Yapi Assa Fabrice, MA***

***Saley Mahaman Bachir, PhD***

***Kouadio Affian, PhD***

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

---

### **Abstract**

Agricultural development and high demographic growth have contributed to the loss of ivorian forest cover. The objective of this study is to analyse the past (1986 to 2019) and to predict (2019 to 2050) evolution of land use in the Lobo watershed. Supervised maximum likelihood classification of landsat images from 1986, 2003 and 2019, coupled with intensity analysis was applied in this study. The results show a decrease in vegetation from 4708.82 km<sup>2</sup> to 4054.72 km<sup>2</sup> over the period 1986 to 2019 at the expense of an increase in the mosaic of crops and fallow land from 6376.56 km<sup>2</sup> to 6925.05 km<sup>2</sup>. Water bodies and bare and built-up land also increased by 3.73 km<sup>2</sup> and 101.88 km<sup>2</sup> respectively. Protected areas, on the other hand, remained unchanged at 1516.13 km<sup>2</sup>. Changes in land use classes by using intensity of analysis were slow in the first time interval (1986-2019) but will accelerate in the second time interval (2019 to 2050). Crop and fallow mosaic and vegetation experienced less intense and more intense area losses respectively, while the other classes gained area intensively during the first time interval. During the second time interval, only water bodies and the crop-fallow mosaic will experience less intense area gains. There was no transition from the other classes to vegetation and crop mosaic over the entire study period (1986 to 2050).

---

**Keywords:** Land use, maximum likelihood, intensity analysis, Markov chain, Lobo watershed

## Introduction

Le couvert forestier participe au développement socio-économique à travers leur contribution à la sécurité alimentaire, la santé et l'amélioration des relations sociales (Rasmussen et al., 2020). Plus de 1,6 milliard de personnes dans le monde en dépendent pour leur alimentation, leur eau, leur combustible, leurs médicaments, leurs cultures traditionnelles et leurs moyens de subsistance (UNFCC, 2014). Pourtant, l'extension horizontale cette ressource naturelle très importante subie à un rythme effréné et inquiétant un rétrécissement. Selon la FAO (2016), la perte annuelle nette des forêts tropicales a été estimée à sept millions d'hectares entre 2000 et 2010. Cette situation est encore plus alarmante en Côte d'Ivoire qui est l'un des pays d'Afrique, dont le taux annuel de déforestation est le plus élevé (90% de la surface de la forêt ivoirienne a disparu ces 60 dernières années) (IFFN, 2021). Ainsi, le couvert forestier ivoirien estimé à 16 millions d'hectares dans les années 1900 est aujourd'hui réduite à environ 2,5 millions d'hectares (Traoré, 2018). Cette régression est due aux besoins croissant des populations qui n'ont d'autres choix que d'étendre leurs cultures au dépens des formations végétales. Aussi, le développement de l'agriculture qui est la base de l'économie du pays, a engendré le déboisement qui a eu ainsi des répercussions sur le couvert forestier. La croissance démographique constitue également un facteur important dans la perte des forêts ivoiriennes (Traoré, 2018). En effet, la population ivoirienne estimée à environ 10,8 millions en 1988 est passée à 22.671.331 millions d'habitants (INS, 2014). Cette forte croissance a pour conséquence une surexploitation du couvert forestier par les activités anthropiques. Le bassin versant de la rivière Lobo, zone à fort potentiel agricole n'est pas exempté de cette situation. À une activité agricole intense, s'ajoute une croissance démographique (densité de la population 120 habitants/km<sup>2</sup>). Cette zone d'étude présente également une régression du couvert forestier due à l'agriculture qui occupe 87% de la population active et à sa galopante croissance démographique. Face à cette problématique qui est de plus en plus préoccupante, l'étude de l'évolution spatio-temporelle des différentes unités d'occupation des sols s'avère nécessaire afin de caractériser les types d'occupation du sol et d'analyser leur évolution pour une gestion durable des ressources naturelles. L'objectif de cette étude est d'analyser l'évolution passée et prédire l'occupation des sols dans le bassin versant de la rivière Lobo pour une meilleure prise de décision en matière de l'aménagement du territoire. De façon spécifique, il s'agit d'abord de cartographier les différentes unités d'occupation des sols, ensuite de faire une simulation de la carte d'occupation du sol à l'horizon 2050 et enfin établir

la dynamique de l'occupation du sol de 1986 à 2019 et de 2019 à 2050. Pour cela, des données de télédétection feront l'objet de traitement au moyen d'un système d'information géographique (SIG).

### Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la rivière Lobo est un sous bassin du fleuve Sassandra (Figure 1). Il est situé au centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 6°05' et 6°55' Ouest et les latitudes 6°02' et 7°55' Nord (Yao, 2014). Avec une superficie de 12722 km<sup>2</sup> et une longueur de 355 km, la rivière Lobo prend sa source au sud de Séguéla et se jette dans le Sassandra dans la localité de Loboville. La majeure partie du bassin appartient à la région du Haut-Sassandra avec pour le chef-lieu de la région Daloa.

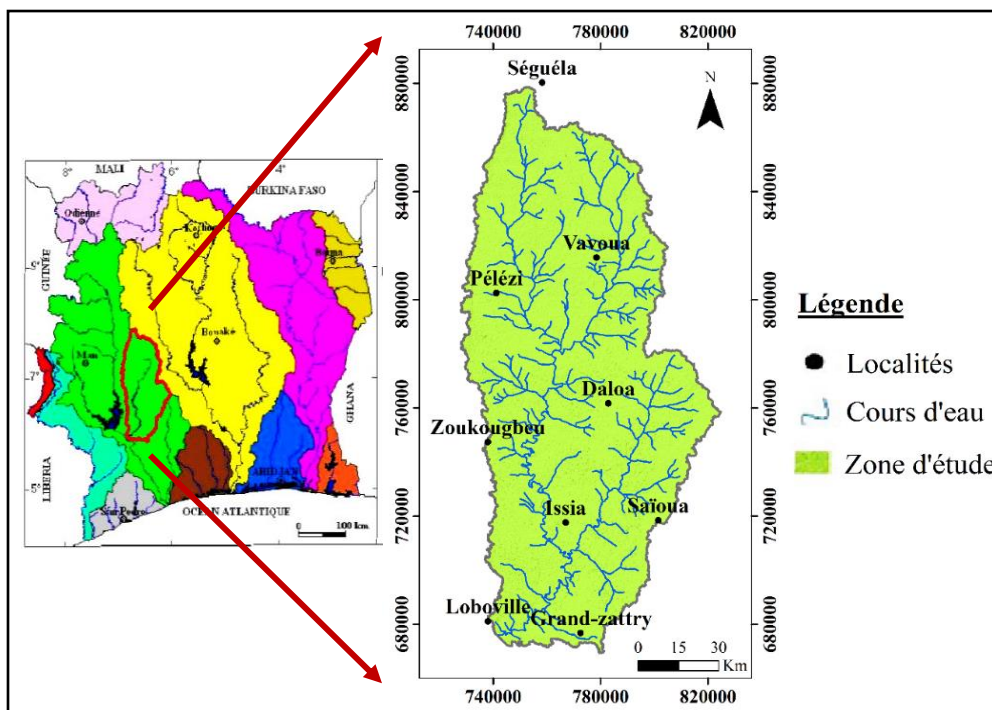


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Le climat du bassin se caractérise par deux types de climat : le climat équatorial de transition atténué avec deux saisons qui s'observe dans la moitié nord du bassin et le climat équatorial de transition avec quatre saisons qui à son tour est noté dans l'extrême sud. Deux grands types de relief se partagent le bassin : les plaines localisées au sud du bassin dont les altitudes varient entre 160 et 240 m, et les plateaux occupant la majeure partie du bassin correspondent aux altitudes variant entre 240 et 320 m (Yao, 2014). Les sols

sont essentiellement de type ferrallitique fortement ou moyennement désaturés remaniés modaux avec recouvrement issus de schistes et de granites.

## Matériel et méthodes

### Données et matériel

Les données utilisées dans cette étude sont les images satellitaires Landsat Thematic Mapper (TM) et Enhanced Thematic Mapper (ETM+) et Operational Land Imager (OLI). Ces images ont été acquises à partir du site officiel de Landsat : [http://glovisapp.glovis.usgs.gov:8080/esdi/index.jsp](http://glovisapp.glovis.usgs.gov/index.jsp). et ont toute une résolution spatiale de 30 m. Les différentes scènes utilisées et les dates d'acquisition sont consignées dans le tableau I.

**Tableau I.** Images satellitaires couvrant le bassin versant de la rivière Lobo

Scènes	Dates d'acquisition des images Landsat		
	TM	ETM+	OLI
197-055	16 janvier 1986	08 février 2003	12 février 2019
197-056	16 janvier 1986	08 février 2003	12 février 2019
198-055	07 Janvier 1986	15 février 2003	02 février 2019

Source : Allechy (2020)

Toutes ces données utilisées ont été traitées à partir des logiciels et progiciels suivant :

Envi 5.1 pour la mosaïque des scènes et le traitement numérique des images satellitaires ;

Idrisi selva (17) pour la modélisation markovienne de l'occupation du sol à l'horizon 2050 ;

Les programmes "Pontius\_Matrix\_22" et "Intensity Analysis03.xmls" pour l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol ; un Global Positioning System (GPS) a servi à relever sur le terrain les coordonnées géographiques des points.

## Méthodes

### Classification des images satellitaires par maximum de vraisemblance

La méthodologie de traitement des images satellitaires dans le cadre de cette étude suit l'ordre suivant :

le prétraitement a consisté à éliminer les bruits radiométriques dans les bandes et à corriger les distorsions géométriques, afin de rendre les images parfaitement superposables aux cartes thématiques existantes (Youan Ta, 2008). Ensuite une mosaïque a été faite sur les 3 scènes pour obtenir l'image complète du bassin versant de la rivière Lobo ;

l'amélioration du contraste : regroupe un ensemble de processus permettant d'améliorer le contraste de l'image par une meilleure distribution des teintes de gris ou des couleurs dans l'intervalle radiométrique de l'image.

L'image résultante est plus éclaircie et plus nette (Youan Ta, 2008 ; Yao, 2009). Puis, la zone d'étude a été délimitée et extraite ;

la composition colorée fait la combinaison des informations qui contiennent trois bandes en les affichant simultanément dans les trois couleurs Rouge Vert et Bleu afin d'avoir une meilleure discrimination entre les objets géographiques (Sarr, 2009). Pour cette étude, les compositions colorées choisies sont celles des bandes 4-5-3 de TM et ETM+ puis 5-7-4 de OLI car se sont-elles qui présentaient une meilleure discrimination des types d'occupation du sol retenues ;

la classification supervisée : dans cette approche, l'analyste d'image supervise le processus de catégorisation des pixels en spécifiant à l'algorithme informatique des descripteurs numériques de divers types d'occupation du sol présents dans la scène. Ainsi, des échantillons représentatifs des sites connus dans l'occupation du sol (environ 310 parcelles d'entraînement) ont été utilisés pour établir une caractéristique numérique clé pouvant décrire au mieux les attributs spectraux pour chaque type de classes. Le choix de l'algorithme de classification s'est porté sur le maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood) car il a donné de bons résultats au cours des travaux de plusieurs auteurs parmi lesquels (Avakoudjo et al., 2014 ; Kpedenou et al., 2016 ; Phiri et Morgenroth, 2017 ; Kouamé et al., 2019 ; Biga et al., 2020) ;

la validation de la classification a consisté en la détermination de la matrice de confusion associée à chaque classification, la précision globale et au coefficient de Kappa appuyées d'une visite de terrain.

### **Prévision d'occupation du sol du bassin de la Lobo à l'horizon 2050**

Pour prédire la dynamique de l'occupation du sol en 2050, les données du modèle de Markov spatialisé sont constituées par les données générées par le modèle : la matrice de probabilité de transitions, les images de probabilité conditionnelles et la carte d'occupation du sol la plus récente. L'image de 2019 étant la plus récente a l'objet d'une première simulation-test, calibrée par les images de 1986 et 2003. Puis, les images de 1986 et 2019 ont servi de base pour extrapoler les quantités de la future carte d'occupation du sol 2050.

### **Dynamique de l'occupation du sol par la méthode intensity analysis**

Intensity analysis présenté par Aldwaik et Pontius (2012), est une méthode quantitative permettant d'analyser des cartes de catégories de terres à partir de plusieurs instants pour un même site en tant compte des matrices de transition. Elle se fait en illustrant les changements à trois (3) niveaux qui sont : les changements entre les intervalles de temps ; les changements au niveau des classes d'occupation du sol et les changements relatifs aux transitions. Après établissement des différentes cartes d'occupation du sol, une matrice de transition est construit en superposant deux cartes d'occupation.



Le changement entre intervalle de temps décrit l'intensité du changement annuel au cours de chaque intervalle. Il examine comment le pourcentage de variation annuelle  $St$  pendant chaque intervalle de temps  $[Y_t, Y_{t+1}]$  se compare à un pourcentage de variation annuelle uniforme  $U$  pendant la durée  $[Y_1, Y_T]$ . Si  $St < U$ , alors  $St$  est lent et si  $St > U$ , alors  $St$  est rapide. L'équation 1 donne  $St$  et l'équation 2 donne  $U$ , les deux supposant que l'étendue spatiale est identique à chaque point dans le temps.

$$S_t = \frac{(\text{Taille du changement pendant } [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(\text{Taille de l'étendue spatiale})\text{durée de } [Y_1, Y_{t+1}]} = \frac{\sum_{i=1}^J \left[ \left( \sum_{i=1}^J C_{tij} \right) - C_{tii} \right]}{\left( \sum_{i=1}^J \sum_{i=1}^J C_{tij} \right) (Y_{t+1} - Y_{Y1})} 100\% \quad (1)$$

$$U = \frac{(\text{Taille du changement pendant tous les intervalles})100\%}{(\text{Taille de l'étendue spatiale})(\text{durée de tous les intervalles})} = \frac{\sum_{i=1}^J \left[ \left( \sum_{i=1}^J C_{tij} \right) - C_{tii} \right]}{\left( \sum_{i=1}^J \sum_{i=1}^J C_{tij} \right) (Y_{t+1} - Y_{Y1})} 100\% \quad (2)$$

Le changement au niveau des classes décrit la variation de l'intensité de la perte brute et intensité des gains bruts parmi les classes de chaque intervalle de temps. Il examine comment la perte  $L_{ti}$  de la classe  $i$  et l'intensité de gain  $G_{tj}$  à la classe  $j$  se compare à une intensité  $St$  uniforme pendant chaque intervalle de temps  $[Y_t, Y_{t+1}]$ .

Si  $L_{ti} < St$ , alors  $L_{ti}$  est dormant et si  $L_{ti} > St$ , alors  $L_{ti}$  est actif. De même, si  $G_{tj} < St$ , alors  $G_{tj}$  est dormant ; et si  $G_{tj} > St$ , alors  $G_{tj}$  est actif. L'équation 3 donne  $L_{ti}$  et l'équation 4 donne  $G_{tj}$ .

$$L_{ti} = \frac{(\text{Taille de la perte de } i \text{ pendant } [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(\text{Taille de } i \text{ à la date } Y_1)(\text{durée de } [Y_1, Y_{t+1}])} = \frac{\left[ \left( \sum_{j=1}^J C_{tij} \right) - C_{tii} \right] 100\%}{\left( \sum_{j=1}^J C_{tij} \right) (Y_{t+1} - Y_1)} \quad (3)$$

$$G_{tj} = \frac{(\text{Taille du gain de } j \text{ pendant } [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(\text{Taille de } j \text{ à la date } Y_{i+1})(\text{durée de } [Y_1, Y_{t+1}])} = \frac{\left[ \left( \sum_{j=1}^J C_{tij} \right) - C_{tij} \right] 100\%}{\left( \sum_{j=1}^J C_{tij} \right) (Y_{t+1} - Y_1)} \quad (4)$$

Le changement relatif aux transitions décrit la variation d'intensité avec laquelle le gain d'une classe particulière passe à d'autres classes dans chaque intervalle de temps (Aldwaik and Pontius 2012, 2013).

Il examine comment l'intensité de transition  $R_{tij}$  de la catégorie  $i$  à la catégorie  $j$  se compare à une intensité de transition  $W_{tj}$  uniforme étant donné le gain de la catégorie  $j$  pendant l'intervalle de temps  $[Y_t, Y_{t+1}]$ . Si  $R_{tij} < W_{tj}$ ,



alors le gain de j évite i, si  $R_{tij} > W_{tj}$ , alors le gain de j cible i. L'équation (5) donne  $R_{tij}$  et l'équation (6) donne  $W_{tj}$ .

$$R_{tij} = \frac{(\text{Taille de la transition de i à n durant } [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(\text{Taille de i à la date } Y_t)} = \frac{C_{iin} / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^J C_{tij}} 100\% \quad (5)$$

$$W_{tm} = \frac{(\text{Taille du gain de n durant } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{Taille de n à la date } Y_t} 100\% = \frac{\left[ \left( \sum_{i=1}^j C_{iin} \right) - C_{im} \right] / (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^J \left[ \left( \sum_{i=1}^J C_{ij} \right) - C_{mj} \right]} 100\% \quad (6)$$

Les équations (7) et (8) concernent l'analyse d'intensité de transition annuelle d'une catégorie m perdue à une autre catégorie j se compare à une intensité de transition  $V_{tm}$  uniforme étant donné la perte de la catégorie j pendant l'intervalle de temps  $[Y_t, Y_{t+1}]$ . Si  $Q_{tmj} > V_{tm}$ , alors la perte de j cible i. Si  $Q_{tmj} < V_{tm}$ , alors j évite la perte de m.

$$Q_{mj} = \frac{\left\{ \text{Taille de la transition de m à j durant } [Y_t, Y_{t+1}] \right\}}{\text{Taille de j à la date } Y_t} 100\% = \frac{\{C_{mj}\} 100\%}{\sum_{i=1}^J C_{ij}} \quad (7)$$

$$V_m = \frac{\left\{ \text{Taille de la perte de m durant } [Y_t, Y_{t+1}] \right\} 100\%}{\text{Taille de m à la date } Y_t} = \frac{\left\{ \left( \sum_{j=1}^J C_{mj} \right) - C_{mm} \right\} 100\%}{\sum_{i=1}^J \left\{ \left( \sum_{j=1}^J C_{ij} \right) - C_{im} \right\}} \quad (8)$$

La notation mathématique de la méthode intensity analysis est illustré par le tableau II.

**Tableau II.** Notation mathématique de intensity analysis

Symbole	Signification
J	nombre de classes
I	indice pour une classe au point de temps initial pour une classe particulière intervalle de temps
J	indice pour une classe au point de temps final pour un temps particulier intervalle
M	classe perdante dans la transition d'intérêt
N	classe gagnante dans la transition d'intérêt
T	nombre de points dans le temps
T	point temporel initial de l'intervalle $[Y_t, Y_{t+1}]$ , où t varie de 1 à T-1
Yt	année au moment t

Ctij	nombre de pixels qui passent de la classe i au moment Yt à la classe j au moment Yt+1
St	intensité annuelle de changement pour l'intervalle de temps [Yt, Yt+1]
U	valeur de la ligne uniforme pour l'analyse de l'intensité temporelle
Gtj	intensité annuelle du gain brut de la classe j pour l'intervalle de temps [Yt, Yt+1]
Lti	intensité annuelle de la perte brute de la classe i pour l'intervalle de temps [Yt, Yt+1]
Rtin	intensité annuelle de la transition de la classe i à la classe n pendant l'intervalle de temps [Yt, Yt+1] où i ≠ n
Wtn	valeur de l'intensité uniforme de la transition vers la classe n de tous les catégories non-n au moment Yt pendant l'intervalle de temps [Yt, Yt+1]
Qtmj	intensité annuelle de la transition de la classe m à la classe j pendant l'intervalle de temps [Yt, Yt+1] où j ≠ m
Vtm	Valeur de l'intensité uniforme de la transition de la classe m à l'ensemble de la classe m non classé au temps Yt+1 pendant l'intervalle de temps [Yt, Yt+1]

Source: Aldwaik and Pontius (2012)

## Résultats

### 3.1. Etat de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière Lobo

La répartition (en kilomètre carré) des classes d'occupation du sol 1986, 2003 et 2019 dans le bassin de la Lobo est illustrée par la figure 2.

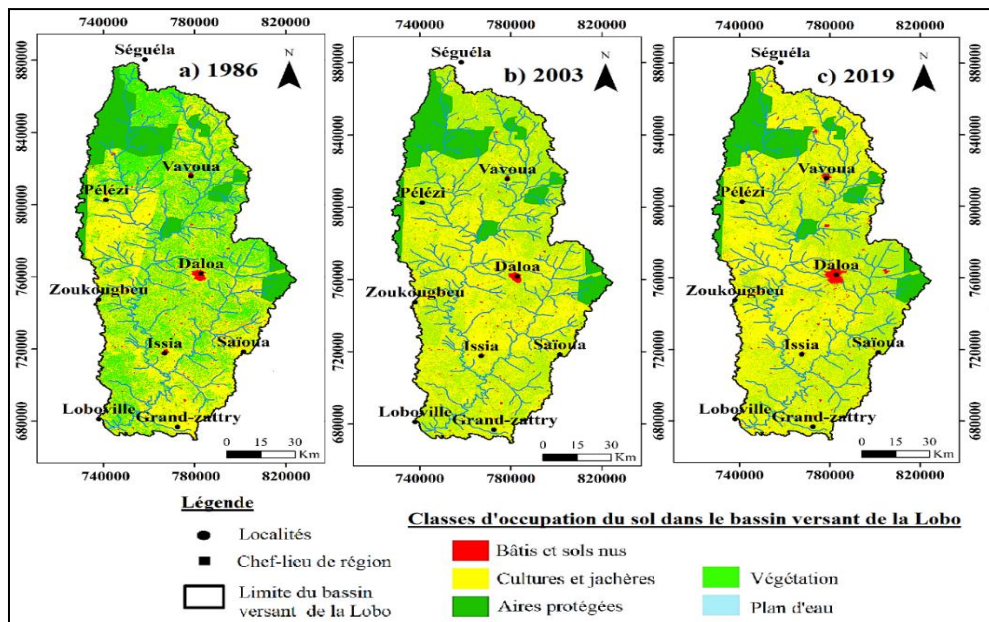


Figure 2. Cartes d'occupation du sol de 1986 (a); 2003 (b) et 2019 (c) du bassin versant de la Lobo

La figure 2a montre qu'en 1986, la classe « mosaïque des cultures et jachères » occupe la plus grande superficie qui est de 6376,56 km<sup>2</sup> soit 50,2%, ensuite vient la classe « végétation » avec une superficie de 4708,82 km<sup>2</sup> soit 37,07%. La classe « aires protégées » occupe une superficie de 1516,13 km<sup>2</sup> soit 11,94% et celle de « sols nus et bâtis » représente 0,78% soit environ 99,49 km<sup>2</sup> de superficie. Quant à la classe « plan d'eau », elle a une superficie de 0,15 km<sup>2</sup> et représente moins de 1% (0,001%) de la zone d'étude.

La carte d'occupation du sol de 2003 (figure 2b) indique que la classe dominante « mosaïque des cultures et jachères » a augmenté de 136,56 km<sup>2</sup> et représente 6512,82 km<sup>2</sup> (51,28%) par rapport à l'année 1986. Avec une superficie de 4547,62 km<sup>2</sup> (35,8%), la classe « végétation » a connu une diminution de 161,2 km<sup>2</sup> superficie. La classe « aires protégées » est restée constante avec 1516,13 km<sup>2</sup> de superficie, soit 11,94%. Les classes « sols nus et bâtis » et « plan d'eau » ont augmenté et occupent respectivement une superficie de 123,98 km<sup>2</sup> (0,98%) et 0,6 km<sup>2</sup> (0,005%).

La figure 2c indique qu'en 2019, la classe « mosaïque des cultures et jachères » a continué d'augmenter de 2003 à 2019 en passant de 6512,82 km<sup>2</sup> (51,28%) à 6925,05 km<sup>2</sup> (54,52%). La classe « végétation » a perdu en superficie et occupe maintenant 4054,72 km<sup>2</sup> soit 31,92%. Par contre, la superficie de la classe « sols nus et bâtis » a augmenté de 77,39 km<sup>2</sup> par rapport à l'année 2003 et est passée de 123,98 km<sup>2</sup> à 201,37 km<sup>2</sup> de superficie soit 1,59%. La classe « plan d'eau » a également augmenté avec une superficie de 3,88 km<sup>2</sup>, soit 0,031%. Quant à la classe « aires protégées », elle n'a pas changé avec 11,94% de superficie de la zone d'étude.

### Validation de la classification des images satellitaires

Les différentes classifications ont été évaluées par les matrices de confusion représentées par les tableaux III, IV et V à travers le calcul de la précision globale de classification et du coefficient de Kappa.

**Tableau III.** Matrice de confusion de la classification de l'image de 1986

Classes	Sols nus et bâtis	Plan d'eau	Cultures/Jachères	Végétation	Aires protégées
Sols nus et bâtis	96,16	0,00	1,11	0,00	0,00
Plan d'eau	0,00	95,09	0,41	1,71	0,00
Cultures/Jachères	3,84	1,51	91,35	1,89	1,40
Végétation	0,00	3,40	4,80	91,56	3,80
Aires protégées	0,00	0,00	2,12	4,84	94,82

La matrice de confusion (tableau III) montre une bonne classification de l'image. En effet, la précision globale de cette classification est de 91,72 % et le coefficient Kappa résultant est de 0,86. Cette valeur comprise entre 0,81 et 1 indique une excellente classification. Ainsi, la carte d'occupation du sol de 1986 obtenue traduit la réalité du terrain. Cependant, on note quelques

confusions d'environ 5 % entre la végétation et la mosaïque des cultures et jachères et entre la végétation et les aires protégées.

**Tableau IV.** Matrice de confusion de la classification de l'image de 2003

Classes	Sols nus et bâtis	Plan d'eau	Culture/ Jachères	Végétation	Aires protégées
Sols nus et bâtis	96,11	0,90	0,96	1,39	1,52
Plan d'eau	0,12	96,35	0,22	0,39	0,51
Cultures/ Jachères	1,30	0,39	97,1	0,58	0,00
Végétation	0,27	0,35	1,72	95,84	3,81
Aires protégées	2,20	0,21	0,00	1,00	94,16

La précision globale et le coefficient de Kappa obtenus sont respectivement de 82,82 % et 0,78. Les valeurs en diagonale dans la matrice de confusion (tableau IV) tendent vers 100 %, traduisant ainsi une bonne classification des pixels. Aussi, la matrice de confusion permet-elle d'observer quelques confusions dont la plus importante est 3,81 % des aires protégées confondues à la végétation.

**Tableau V.** Matrice de confusion de la classification de l'image de 2019

Classes	Sols nus et bâtis	Plan d'eau	Cultures/ Jachères	Végétation	Aires protégées
Sols nus et bâtis	97,25	0,00	1,95	0,00	0,00
Plan d'eau	0,00	97,23	0,07	0,10	0,00
Cultures/ Jachères	1,95	1,92	95,6	1,02	2,87
Végétation	0,00	0,85	1,48	98,68	1,26
Aires protégées	0,80	0,00	0,90	0,20	95,87

La matrice de confusion de la classification de l'image de 2019 est présentée par le tableau V. Avec une précision globale de 92,58 % et un coefficient de Kappa de 0,91 compris entre 0,81 et 1, la classification des pixels est excellente. Elle montre quelques confusions variant de 0 à 2,87 %. La plus importante confusion (2,87 %) est celle de la classe « aires protégées » qui est confondue avec la classe « mosaïque des cultures et jachères ».

Les informations issues de la visite de terrain effectuée du 26 août au 20 septembre 2021 ont servi à la validation de la classification. Sur un total de 100 points, 95 ont pu être visités avec plusieurs classes correspondantes à 86,31 %. En effet, 82 sites ont été reconnus sur les 95 sites. 8 sites reconnus sur 10 pour la classe "plan d'eau", 30 sites contre 36 pour la classe "cultures et jachères", 25 contre 30 sites pour la classe "végétation", 7 sites sur 7 reconnus pour la classe "sols nus et bâtis" et 12 sites contre 12 pour la classe "aires protégées".

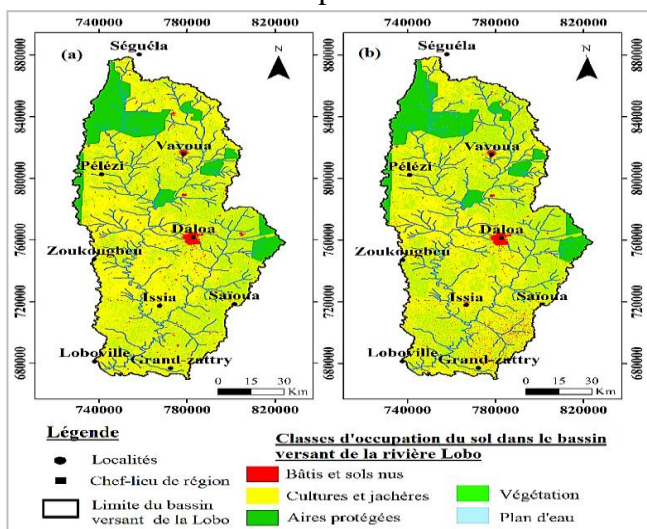
### Validation et prévision de l'occupation du sol en 2050

La validation s'est faite en comparant les superficies de chaque classe d'occupation du sol de la carte classifiée (2019) à celles de la carte simulée (2019) illustrées par le tableau VI et la figure 3.

**Tableau VI.** Superficie des classes d'occupation du sol de la carte classifiée et la carte simulée de 2019

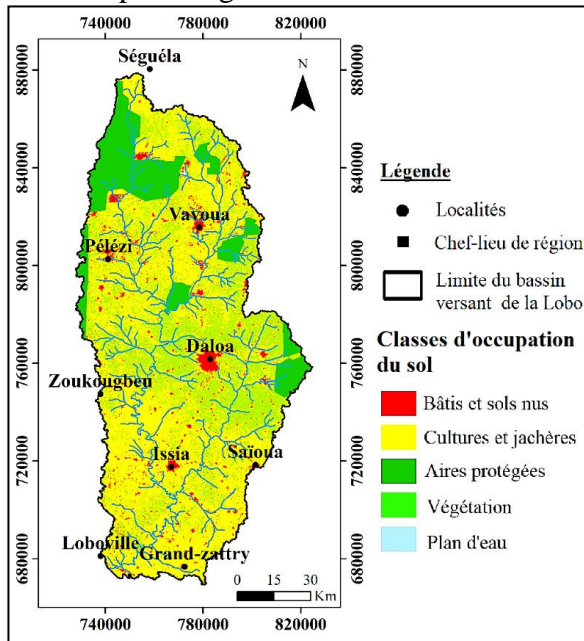
Classes d'occupation du sol	Superficies (km <sup>2</sup> ) de la carte de classifiée 2019	Superficies (km <sup>2</sup> ) de la carte simulée 2019
Sols nus et bâtis	201,36	212,64
Cultures/jachères	6876,07	6289,87
Aires protégées	1516,13	1516,13
Végétation	4054,71	4679,50
Plan d'eau	3,88	3,01

Les superficies de chaque classe d'occupation du sol diffèrent entre l'image simulée de 2019 et l'image classifiée de 2019. Cependant, sur l'ensemble des deux cartes, la mosaïque des cultures et jachères a la plus grande superficie (6289,87 km<sup>2</sup>). Elle est suivie de la végétation qui a augmenté par rapport à la carte classifiée avec une superficie de 4679,50 km<sup>2</sup>. La superficie des sols nus et bâtis au niveau de la carte classifiée (201,36 km<sup>2</sup>) est moins importante par rapport à la carte simulée (212,64 km<sup>2</sup>). Les plans d'eau sur la carte classifiée a une superficie de 3,88 km<sup>2</sup> plus importante que sur la carte simulée (3,01 km<sup>2</sup>). La superficie des aires protégées (1516,13 km<sup>2</sup>) est restée stable sur les deux cartes. Bien vrai que les superficies de chaque classe d'occupation du sol entre la carte classifiée et la carte simulée de 2019 ne sont pas les mêmes, mais leurs superficies sont quasi similaires montrant ici la performance du modèle de prévision.



**Figure 3.** Carte d'occupation du sol classifiée (a) et simulée (b) en 2019

La carte d'occupation du sol simulée à l'horizon 2050 de la zone étudiée est présentée par la figure 4.



**Figure 4.** Carte d'occupation du sol du bassin versant de Lobo en 2050

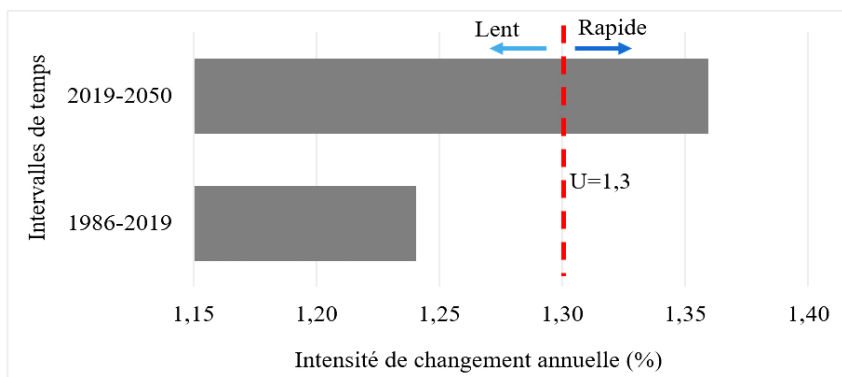
L'analyse de cette figure 4 montre qu'en 2050, la mosaïque des cultures et jachères, les plans d'eau et les sols nus et bâtis augmenteront avec les superficies respectives de 7509,76 km<sup>2</sup>, 6,13 km<sup>2</sup> et 541,28 km<sup>2</sup>. Par contre, les aires protégées resteront statiques avec la même superficie de 1516,13 km<sup>2</sup>, tandis que la végétation diminuera de 3127,85 km<sup>2</sup> de superficie.

### **Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin de la Lobo**

La superposition des cartes d'occupation du sol a conduit à la construction des matrices de transitions. Ces matrices ont mis en évidence les différents changements des classes d'occupations du sol.

### **Changements au niveau des intervalles de temps**

L'analyse de l'intensité du niveau des intervalles de temps est illustrée par la figure 5.

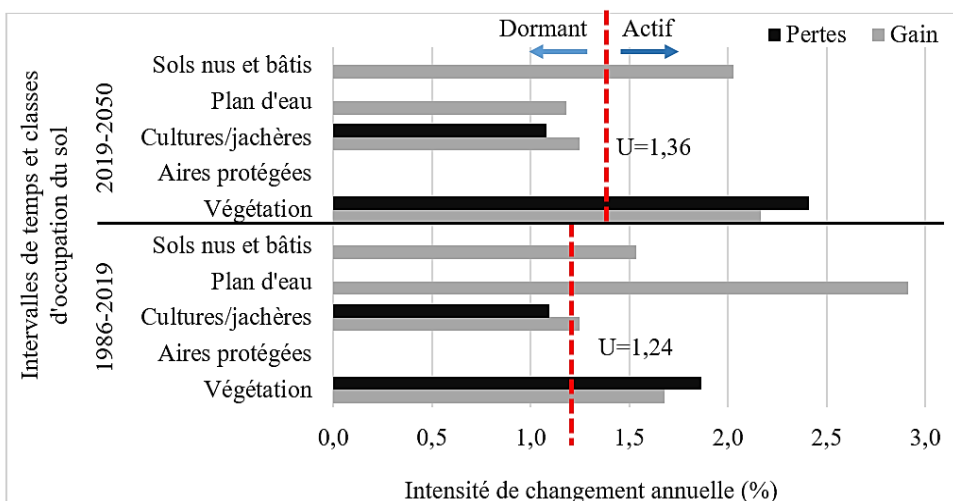


**Figure 5.** Analyse d'intensité de changement au niveau d'intervalles de temps

Le seuil d'intensité uniforme est de 1,3 %. Le changement annuel est lent par rapport à l'intensité uniforme pendant le premier intervalle de temps 1986-2019 et tandis qu'il sera rapide pendant le deuxième intervalle de temps 2019-2050 avec une augmentation d'intensité de changement de 1,36 %.

### Changements au niveau des classes d'occupation du sol

L'analyse de l'intensité de changement au niveau des classes pour chaque intervalle de temps est présentée par la figure 6.



**Figure 6 :** Analyse d'intensité de changement au niveau des classes d'occupation du sol

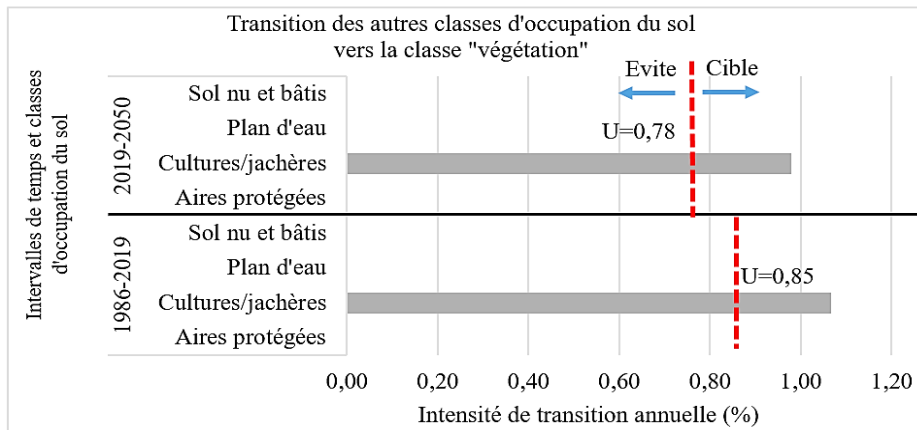
Elle indique qu'au cours des intervalles de temps de 1986-2019 et de 2019-2050, les valeurs de l'intensité uniforme sont respectivement de 1,26 % et 1,36 %. Pendant le premier intervalle de temps, la perte de la végétation est



active contrairement à la perte de la mosaïque des cultures et jachères qui est dormante. Ce qui signifie que la végétation a subi des pertes plus intenses et celle de la mosaïque des cultures et jachères a connu des pertes de surfaces moins intenses. Les plans d'eau, aires protégées et sols nus et bâtis n'ont pas connu de pertes de surfaces au cours de cet intervalle de temps. En termes de gains, toutes les classes d'occupation du sol à l'exception des aires protégées ont gagné activement des surfaces. Au cours du deuxième intervalle de temps (2019-2050), les pertes d'intensité de la végétation et mosaïque des cultures et jachères sont stationnaires avec en général une augmentation d'intensité de changement. En effet, comme dans le premier intervalle de temps, la végétation perdra activement de surfaces tandis que la mosaïque des cultures et jachères aura des pertes relativement dormantes. Par contre, les autres classes ne connaîtront pas de pertes pendant ce deuxième intervalle de temps. Contrairement aux gains de la végétation et aux sols nus et bâtis, les gains des plans d'eau et mosaïque des cultures et jachères initialement actifs pendant le premier intervalle de temps seront dormants pendant le deuxième intervalle de temps. Autrement dit, l'expansion des sols nus et bâtis et végétation se fera de façon plus intense par contre celle des autres classes se feront moins intensément. Les plans d'eau et mosaïque des cultures et jachères gagneront des surfaces de façon moins intense.

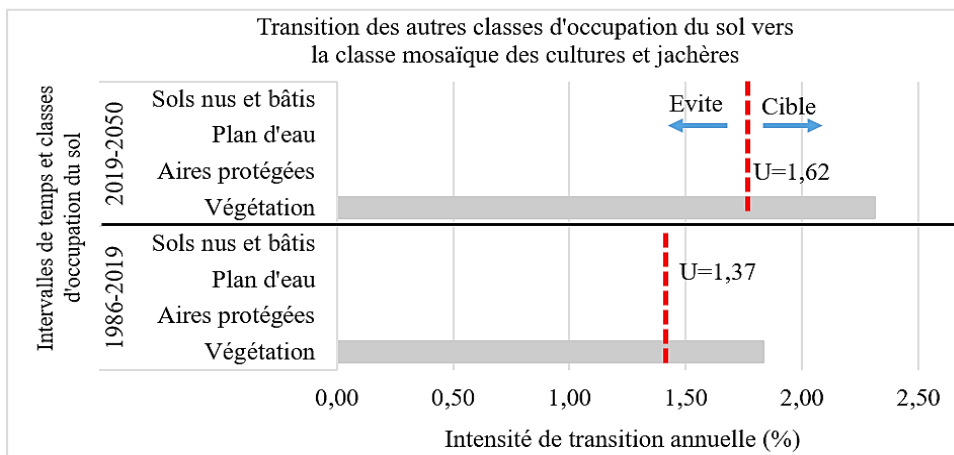
### Changements relatifs aux transitions

La figure 7 montre les intensités des transitions observées compte tenu des gains de la végétation.



**Figure 7.** Analyse de l'intensité de transition des autres classes d'occupation du sol vers la classe « végétation »

Seules les transitions vers les gains de la végétation et de la mosaïque des cultures et jachères ont été analysées car ce sont les classes qui ont le plus variées dans le temps. Les valeurs de l'intensité uniforme de la transition des autres classes d'occupation du sol vers la végétation étant donné le gain, sont respectivement pour les périodes de 1986 à 2019 et de 2019 à 2050 0,85 % et 0,78 %. Le gain de la végétation cible la mosaïque des cultures et jachères pendant le premier et le deuxième intervalle de temps. Cela traduit que le gain de la végétation transition mosaïque des cultures et jachères s'est fait de façon plus intense pendant les deux intervalles de temps. Autrement dit, le gain de la végétation vers la mosaïque des cultures et jachères est plus important avec une diminution d'intensité de transition (1,07 % à 0,98 %) du premier intervalle de temps au deuxième intervalle de temps. Il n'y pas eu de gain de la végétation vers les sols nus et bâtis, les plans d'eau et les aires protégées. L'analyse de la transition du gain de la mosaïque des cultures et jachères vers les autres classes d'occupation du sol est illustrée par la figure 8.



**Figure 8.** Analyse de l'intensité de transition des autres classes d'occupation du sol vers la classe « mosaïque des cultures et jachères »

Les valeurs de l'intensité uniforme de transition sont respectivement de 1,37 % et 1,62 % pour le premier et deuxième intervalle de temps. Il n'y pas eu de transition de la mosaïque des cultures et jachères vers les autres classes en terme de gain excepté la végétation. Le gain de la mosaïque des cultures et jachères cible la végétation pendant les deux intervalles de temps. Cela traduit que le gain de la mosaïque des cultures et jachères transition végétation s'est fait plus intensément. Tout comme le gain de la végétation transition mosaïque des cultures et jachères, la transition du gain de la mosaïque des cultures et jachères vers la végétation est plus importante mais cette fois ci, avec une augmentation de l'intensité de transition du premier intervalle de temps (1,83 %) au deuxième intervalle de temps (2,31 %). La

transition du gain de mosaïque des cultures et jachères vers la végétation a été stationnaire car la mosaïque des cultures et jachères a ciblé la classe végétation pendant les deux intervalles de temps.

## **Discussion**

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent une bonne classification des images satellitaires avec des précisions globales de 91,72 % pour 1986, 82,8 % pour 2003 et 92,58 % pour 2019 malgré quelques confusions qui se sont opérées dans le traitement des images satellitaires. Les valeurs de précision globale et les valeurs kappa supérieures à 80 % indiquent que les performances de classification sont satisfaisantes (Chalifoux et al., 2006). Ces précisions s'apparentent à celles de Kouassi (2014) qui a obtenu 96,2 % pour l'année 1987, 95,03 % pour 2002 et 94,8 % pour 2012 à Yamoussoukro. Tadese et al. (2021) ont également indiqué des précisions globales de 85,4 % pour l'année 1987, 86 % pour 2002 et 87,3 % pour 2017 avec les mêmes images de Landsat au Sud-Ouest de l'Éthiopie. Cinq classes d'occupation du sol ont été identifiées dans la zone d'étude. La végétation a été réduite et transformée principalement en mosaïque des cultures et jachères et en sols nus et bâtis au cours de toute la période d'étude (1986 à 2019). Ceci pourrait s'expliquer par l'expansion des cultures due à l'augmentation de la population et de ses activités. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Ouattara et al. (2021) dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire qui ont montré que l'extension des cultures de rente (cacao-café, hévéa et palmier à huile), des cultures et jachères non différenciées ainsi que des infrastructures (habitations et routes) a conduit à un taux de déforestation de 4,95 % par an de 2016 à 2019. La combinaison du modèle markovien avec le modèle d'automates cellulaires stochastiques a permis de faire la prévision de la carte d'occupation du sol à l'horizon 2050. C'est le modèle le plus approprié pour prédire le changement d'occupation du sol (Kumar et al., 2014). Elle a été largement utilisée pour décrire les changements d'occupation du sol dans diverses régions et a donné des résultats probants (Agbanou, 2018 ; Hamad et al., 2018 ; Al Kafy et al., 2021; Tadese et al., 2021). En ce qui concerne la validation du modèle dans cette étude, une comparaison des surfaces occupées par les différentes classes d'occupation du sol a été effectuée entre l'image observée et celle simulée de 2019. Le résultat a montré une bonne similitude entre les deux images qui ont représentées des surfaces similaires pour les aires protégées, tandis que pour les autres classes, il y avait légèrement des différences de surfaces. La prédiction de la carte d'occupation du sol de 2050 a montré une baisse de superficies de la végétation, tandis que la mosaïque des cultures et jachères, les plans d'eau et les sols nus et bâtis ont augmenté au détriment de la végétation au cours de la période de 2019 à 2050.

Ce qui peut être dû à de futures activités anthropiques (expansion des terres agricoles et urbanisation rapide) associées à croissance démographique de la population. Ces résultats pourraient être utilisés comme guide pour aider les décideurs à améliorer les plans de gestion de l'utilisation des terres.

## **Conclusion**

Cette étude menée dans le bassin versant de la rivière Lobo, a montré l'évolution passée (1986-2019) et prédit (2019-2050) des différentes classes d'occupation du sol à partir des images Landsat. La mosaïque des cultures et jachères a augmenté de superficies au détriment de la végétation qui a régressé. Les aires protégées sont restées inchangées. Par contre, les sols nus et bâtis et les plans d'eau ont augmenté sur toute la période d'étude. L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a montré que plusieurs changements ont eu lieu sur le bassin versant de la Lobo dont les plus significatifs sont au niveau de la végétation et de la mosaïque des cultures et jachères. Le changement global des classes d'occupation du sol a été lent de 1986 à 2019 mais s'accélérera de 2019 à 2050. La végétation et la mosaïque des cultures et jachères ont connu des pertes de superficies respectivement de manière plus intense et moins intense au cours des deux intervalles de temps. Les autres classes ont gagné intensément des superficies au cours du premier intervalle de temps mais seuls les plans d'eau et la mosaïque des cultures et jachères connaîtront des intensités de gains moins intenses durant le deuxième intervalle de temps. Il n'y a pas eu de transition des autres classes vers la végétation et la mosaïque des cultures sur toute la période d'étude. Ces résultats permettront de donner aux décideurs des outils de prise de décision et de résolution des problèmes en matière de gestion durable des unités d'occupation du sol.

## **References:**

1. Agbanou B. T., (2018) : Dynamique de l'occupation du sol dans le secteur Natitingou Boukombé (nord-ouest du Bénin) : de l'analyse diachronique à une modélisation prospective. Thèse de Doctorat en Géographie., Université Toulouse le Mirail, Toulouse II; Université nationale du Bénin, 271p.
2. Al Kafy A. M., Naim N. H., Subramanyam. G., Faisal A., Ahmed N. U., Al Rakib A., Kona M. A., Sattar G. S., (2021) : Cellular automata approach in dynamic modelling of land cover using RapidEye images in Dhaka, Bangladesh, Environmental challenges, volume 4, 15p.
3. Aldwaik S. Z., And Pontius Jr R. G., (2012): Intensity Analysis to Unify Measurements of Size and Stationarity of Land Changes by Interval, Category, and Transition. Landscape Urban Plan., volume 106, pp 103-114.

4. Aldwaik, S. Z., and Pontius Jr R. G., (2013): Map errors that could account for deviations from a uniform intensity of land change. *International Journal of Geographical Information Science*, volume 27, pp 1717-1739.
5. Avakoudjo J., Mama A., Toko I., Kindomihou V. et Sinsin B. (2014). Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Science*. 8(6): pp 2608-2625.
6. Biga I., Amani A., Soumana I., Bachir M., et Mahamane A., (2020) : Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. *International Journal of Biological and Chemical Science*. 14 (3): pp 949-965;
7. Chalifoux S., Nastev M., Lamontagne C., Latifovic R., (2006): Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire Landsat en hydrogéologie. *Téledétection*, volume. 6, n°1, pp 9-17.
8. FAO, (2016) : Forêts et agriculture : défis et possibilités concernant l'utilisation des terres. Rome, Italie, FAO, ISBN 978-92-5-209208-7, 137 p.
9. Hamad R., Balzter H., And Kolo K., (2018): Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model under Two Different Scenarios. *Sustainability*, 10 (10), 3421. 23 p.
10. Kouamé Y. M., Obahoundje S., Diedhiou A., François B., Amoussou E., Anquetin S., Didi R. S., Kouassi L. K., N'guessan Bi V. H., Soro E. G., Yao E. K., (2019): Climate, Land Use and Land Cover Changes in the Bandama Basin (Côte D'Ivoire, West Africa) and Incidences on Hydropower Production of the Kossou Dam. *Land*, 8(7), 103. 21p.
11. Kouassi K. J. L., (2014) : Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'information géographiques : Cas de la Direction Régionale des Eaux et Forêts de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Mémoire pour l'option du Diplôme d'Agronomie Approfondie, Ecole Supérieure d'Agronomie, Côte d'Ivoire, 74 p.
12. Kpedenou K. D., Boukpassi T., Tchamie T. T. K., (2016) : Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (sud-est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire landsat. *Revue des Sciences de l'Environnement*. ISSN 1812-1403, n°3, pp.137-156.
13. Kumar S., Radhakrishnan N., and Mathew S., (2014) : Land use change modelling using a Markov model and remote

- sensing,” *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, volume 5, n° 2, pp. 145-156.
14. Ladet S., Deconchat M., Monteil C., Lacombe J-P., Balent G., (2005) : Les chaînes de Markov spatialisées comme outil de simulation, *Revue Internationale de la géomatique*, ISSN: 1260-5875, volume 5 (2), pp 159-173.
  15. Ouattara T. A., Kouamé K. F., Zo-Bi I. C., Vaudry R., Grinand C., (2021) : Changements d’occupation et d’usage des terres entre 2016 et 2019 dans le Sud-Est de la Côte d’Ivoire : impact des cultures de rente sur la forêt. *Bois et Forêts des Tropiques*, 347: pp 89-104.
  16. Phiri D.; Morgenroth J., (2017) : Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensor*, 9, 967. 25p.
  17. Rasmussen L. V., Fagan M. E., Ickowitz A., Wood S. L. R., Kennedy G., Powell B., Baudron F., Gergel S., Jung S., Smithwick E. A. H., Sunderland T., Wood S., Rhemtulla J. M., (2020): Forest pattern, not just amount, influences dietary quality in five African countries. *Global Food Security*, 25: 100331, 11p.
  18. INS (2014) : Rapport d’exécution et présentation des principaux résultats, Institut national de la statistique, Abidjan, 49 p.
  19. Sarr M. A., (2009) : Évolution récente du climat et de la végétation au Sénégal (cas du Ferlo), Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Jean Moulin Lyon 3, LCRE UMR 5600 CNRS, 410 p.
  20. Tadese S., Soromessa T., Bakele T., (2021): Anlysis of the current and future prediction of Land Use/Land Cover Change using remote sensing and the CA-Markov Model in Majang forest biosphere reserves of Gambell, southwestern Ethiopia. *The scientific world journal*, volume 2021, Article ID 6685045, 18p.
  21. Traore K., (2018) : Le couvert forestier en Côte d’Ivoire : une analyse critique de la situation de gestion des forêts (classées, parcs et réserves). *International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, 5(02), ISSN: 2349-2031, pp 4387-4397.
  22. UNFCC, (2014): Forests Action Statements and Action Plans. The New York Declaration on Forests. Climate summit 2014, United nations, 18 p.
  23. Yao A. B., (2014) : Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d’une gestion rationnelle (centre-ouest de la Côte d’Ivoire), Thèse Unique de Doctorat en hydrologie, Université Abobo-Adjamé, Côte d’Ivoire, 186p.
  24. Yao K. T., (2009) : Hydrodynamisme dans les aquifères du socle cristallin et cristallophyllien du Sud-Ouest de la Côte d’Ivoire : cas du département de Soubré. *Apport de la télédétection*, de la

- géomorphologie et de l'hydrochimie. Thèse Unique en hydrogéologie et hydrochimie. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 216p.
25. Youan Ta M., (2008) : Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : cas de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat en hydrogéologie, Université de Cocody (Abidjan), Côte d'Ivoire, 250 p.