
Travail de fin d'études[BR]- Travail de recherche personnel[BR]- Travail d'expertise interdisciplinaire

Auteur : Kabore, Dramane

Promoteur(s) : Peereman, Jonathan

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes à l'ère de l'Anthropocène

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/23773>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

Dynamique paysagère de la Forêt Classée de Mbao (Sénégal) : impacts climatiques et anthropiques et perspectives de gestion durable



KABORE Dramane

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER DE SPECIALISATION EN GESTION DES RISQUES ET
DES CATASTROPHES A L'ERE DE L'ANTHROPOCENE**

ANNEE ACADEMIQUE 2024-2025

REDIGÉ SOUS LA DIRECTION DE : DOCTEUR JONATHAN PEEREMAN

COMITÉ DE LECTURE :
PROFESSEUR OZER PIERRE
DOCTEUR ANTOINE DENI

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège

*L'autorité académique est représentée par le (s) promoteur(s), membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document Dramane KABORE
Email : dramanekabore8@gmail.com

DEDICACE

A vous mère Awa KABORE,

Je n'oublierai jamais tous les sacrifices consentis pour me voir réussir. Malgré le départ prématuré de papa vous avez su nous redonner espoir. Qu'Allah le tout puissant vous comble de sa grâce et de sa miséricorde.

A mes deux précieuses filles,

Que ce travail soit le témoignage de tout l'amour, l'espoir et la confiance que je place en vous.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, le devoir est pour nous d'exprimer nos remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Nos remerciements s'adressent d'abord :

- à l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) pour le financement de notre formation ;
- au Professeur Pierre OZER, Coordonnateur du Master de spécialisation en Gestion des Risques et des Catastrophes à l'ère de l'Anthropocène (Ms-GRCA), pour toutes les facilitations afin de faire de cette formation un succès. Nous lui en sommes infiniment reconnaissants pour ses multiples conseils et encouragements. Qu'il reçoive nos sincères remerciements ;
- au Docteur Jonathan PEEREMAN, notre promoteur. Nous le remercions pour la confiance qu'il a placée en nous en acceptant d'encadrer ce document. Nous lui en sommes infiniment reconnaissants pour ses orientations, ses multiples conseils et encouragements. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude ;

Ensuite :

- à Monsieur Koufanou Hien, assistant au programme de formation Ms-GRCA pour son appui inestimable, ses multiples conseils et encouragements dans la conduite de ce travail ;
- au corps professoral du Campus Environnement d'Arlon et du département de Géographie de l'université de Namur, pour le sacrifice consentis afin de nous assurer un enseignement de qualité ;
- à Docteur Adjaratou Diakhou Ndiaye, coordonnatrice du Programme national multisectoriel de sécurité sanitaire « One Health » qui nous a accepté dans sa structure. Nous te sommes reconnaissant pour l'accompagnement dont nous avons bénéficié durant notre stage ;
- à tout le personnel du Programme national multisectoriel de sécurité sanitaire One Health pour la franche collaboration, les orientations et les conseils dont nous avons bénéfice durant notre séjour sur le terrain ;
- Au Commandant Jean Baptiste DIOUP, Coordonnateur de l'unité de gestion du projet du plan d'aménagement de la Forêt Classée de Mbao et à ses collaborateurs pour leur accompagnement technique, et le soutien logistique et matériel durant notre stage ;

Enfin, nous témoignons toute notre reconnaissance :

- à toute la promotion Ms-GRCA 2024/2025 pour la bonne collaboration et le soutien mutuel.
- à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué au bon déroulement de cette formation et dont les noms n'ont pas été cités, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| DEDICACE | ii |
| REMERCIEMENTS | iii |
| TABLE DES MATIERES | iv |
| LISTE DES FIGURES | vii |
| LISTE DES ANNEXES | viii |
| SIGLES ET ABREVIATIONS | ix |
| RESUME | x |
| ABSTRACT | xi |
| 1- Introduction | 1 |
| 1.1 - Contexte et justification | 1 |
| 1.2 - Objectifs, questions et hypothèses de recherche | 2 |
| 1.2.1 - Objectifs de recherche | 2 |
| 1.2.2 - Questions de recherche | 2 |
| 1.2.3 - Hypothèses de recherche | 3 |
| 1.2.4 - Contribution de l'étude | 3 |
| 2- État de connaissances | 4 |
| 2.1- Définition de concepts | 4 |
| 2.2- Ressource forestière du Sénégal | 5 |
| 2.3- Urbanisation, déforestation et dégradation des forêts au Sénégal | 5 |
| 2.4- Télédétection | 6 |
| 2.5- Indice de végétation par différence normalisé (NDVI) | 6 |
| 3- Matériel et méthodes | 8 |
| 3.1- Présentation de la zone d'étude | 8 |
| 3.1.1- Situation de la Forêt classée de Mbao | 8 |
| 3.1.2- Climat | 8 |
| 3.1.3- Végétation et faune | 9 |
| 3.1.4- Population | 9 |
| 3.2- Données de l'étude | 9 |
| 3.3- Outils d'analyse | 11 |
| 3.3.1- R | 11 |
| 3.3.2- QGIS | 11 |
| 3.4- Méthodologie | 11 |
| 3.4.1- Caractérisation de la dynamique d'occupation du sol de la Forêt Classée de Mbao | 11 |
| 3.4.2- Caractérisation des facteurs de changement du paysage de la Classée de Mbao | 13 |

| | |
|---|----|
| <i>3.4.3- Perception de la population riveraine de la dynamique, l'impact climatique et anthropique, et la stratégie de gestion de la FCM</i> | 15 |
| 3.4.4- Stratégie de gestion actuelle de la FCM..... | 15 |
| 4- Résultats | 16 |
| <i>4.1- Dynamique paysagère de la Forêt Classée de Mbao de 1998 à 2024</i> | 16 |
| <i> 4.1.1- Dynamique des classes d'occupation du sol</i> | 16 |
| <i> 4.1.2- Taux de changement et superficies des classes d'occupation du sol</i> | 18 |
| <i> 4.1.3- Perception locale de l'état de la Forêt Classée de Mbao</i> | 19 |
| <i> 4.1.4- Perception des manifestations de l'évolution du paysage de la FCM</i> | 20 |
| <i>4.2- Facteurs déterminants la dynamique du paysage de la Forêt Classée de Mbao</i> | 20 |
| <i> 4.2.1- Variabilité interannuelle des précipitations</i> | 20 |
| <i> 4.2.1.1- Indice pluviométrique standardisé (SPI) interannuel</i> | 20 |
| <i> 4.2.1.2- Tendance de la série chronologique des précipitations de 1988 à 2024</i> | 21 |
| <i> 4.2.1.3- Ruptures dans la série chronologique des précipitations de 1988 à 2024</i> | 22 |
| <i> 4.2.2- Perception du changement dans les paramètres climatiques</i> | 22 |
| <i> 4.2.3- Suivi de la dynamique paysagère de la FCM à partir de l'indice de végétation par différence normalisé entre 1988 et 2024</i> | 23 |
| <i> 4.2.3.1- Evolution spatio-temporelle de l'indice de végétation par différence normalisé entre 1988 et 2024</i> | 23 |
| <i> 4.2.3.2- Analyse de l'indice de végétation par différence normalisé moyen sur la période d'étude</i> | 24 |
| <i> 4.2.4- Corrélation entre le NDVI et les cumuls pluviométriques mensuels</i> | 26 |
| <i> 4.2.5- Perception des conséquences du changement de la pluviométrie sur la FCM</i> | 26 |
| <i> 4.2.6- Perception de l'impact des activités humaines</i> | 27 |
| <i>4.3- Stratégie de gestion actuelle de la FCM</i> | 28 |
| <i> 4.3.1- Perception sur le mode de gestion actuel</i> | 28 |
| <i> 4.3.2- Perception du mode de gestion le plus efficace pour garantir une gestion durable</i> | 28 |
| <i> 4.3.3- Perception des rôles écosystémique et socio-économique</i> | 29 |
| <i> 4.3.4- Mise en œuvre du plan d'aménagement</i> | 29 |
| <i> 4.3.5- Difficultés liées à la gestion</i> | 30 |
| 5- Discussion | 31 |
| Conclusion | 37 |
| Bibliographie | 39 |
| ANNEXES | I |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Taux de changement des classes d'occupation du sol entre 1988 et 2024 | 19 |
| Tableau 2 : Taux de réponse (F) et degré de consensus (Cs) des enquêtés sur l'état de la FCM | 20 |
| Tableau 3 : Taux de réponse (F) en accord avec la manifestation de changement proposée et degré de consensus des enquêtés (CS) sur le changement observé dans la FCM..... | 20 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Localisation de la Forêt classée de Mbao | 8 |
| Figure 2 : Répartition de la population riveraine de la FCM selon les communes (ANSD,2024) | 9 |
| Figure 3 : Schéma méthodique des opérations de la classification supervisée..... | 13 |
| Figure 4a : Classes d'occupation du sol de la FCM en 1988 | 16 |
| Figure 5a : Classes d'occupation du sol de la FCM en 2006 | 17 |
| Figure 6a : Classes d'occupation du sol de la FCM en 2024 | 18 |
| Figure 7 : Evolution des superficies des classes d'occupation du sol entre 1988 et 2024 | 19 |
| Figure 8 : Indice pluviométrique standardisé de 1988 à 2024..... | 21 |
| Figure 9 : Tendance des précipitations interannuelles de 1988 à 2024 | 21 |
| Figure 10 : Rupture dans la série interannuelle de précipitations..... | 22 |
| Figure 11 : Perception des enquêtés sur les manifestations de la modification du régime pluviométrique | 23 |
| Figure 12 : Dynamique spatio-temporelle du NDVI de la FCM | 24 |
| Figure 13 : NDVI moyen de la FCM de 1988 à 2024 | 24 |
| Figure 14a : Test de Mann-Kendall sur la série temporelle du NDVI entre 1988 et 2024 | 25 |
| Figure 15 : Corrélation entre le NDVI et les cumuls pluviométriques mensuels | 26 |
| Figure 16 : Conséquences de la modification du régime pluviométriques identifiées par les enquêtés | 27 |
| Figure 17 : Actions anthropiques identifiées comme ayant un impact sur la FCM..... | 28 |
| Figure 18 : Perception du mode de gestion le plus adapté pour garantir une gestion durable de la FCM | 29 |
| | |
| Photo 1 : Zone de conservation dans la FCM..... | 34 |
| Photo 2 : Restauration des terres dégradées dans la FCM..... | 34 |
| Photo 4 : Ecorçage d'une plante pour la pharmacopée | 35 |
| Photo 3 : Morts d'arbres dans une parcelle maraîchère de la FCM | 35 |
| Photo 5 : Dépôt de gravats dans la FCM..... | 35 |
| Photo 6 : Dépôt de déchets ménagers dans la FCM | 35 |

LISTE DES ANNEXES

| | |
|--|-----|
| Annexe 1 : Entretien auprès la population riveraine de la FCM..... | I |
| Annexe 2 : Entretien avec les acteurs impliqués dans la gestion de la FCM..... | III |
| Annexe 3 : Images Landsat téléchargées | IV |
| Annexe 4 : Matrices de confusion de la classification supervisée | IV |

SIGLES ET ABREVIATIONS

- ANACIM** : Agence Nationale de l’Aviation Civil et de la Météorologie
ANSO : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
CCS : code de conduite consensuel pour la gestion durable de la forêt
Cs : valeurs consensuelles
DEFCCS : Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols
F : taux de réponses
FAO : Organisation des nations unies pour l’alimentation et l’agriculture
FCM : Forêt Classée de Mbao
FFA : Forum Forestier Africain
GPS : Global Positioning System
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration
ODD : Objectif de Développement Durable
OMM : Organisation météorologique mondiale
OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel
PA : Plan d’Aménagement
RGPH-5 : Cinquième recensement général de la population et de l’habitat
ROI : Region Of Interest
SCP : Semi-Automatic Classification
SIG : Système d’information Géographique
SPI : Indice Pluviométrique Standardisé
SRSD : Service Régional de la Statistique et de la Démographie
TER : transport express régional
TR : taux de réalisation
TRm : Taux de réalisation moyen
USAID : United States Agency International Development
USGS : United States Geological Survey

RESUME

La Forêt Classée de Mbao, à l'instar des autres forêts du Sénégal est confrontée à un phénomène de dégradation, sous l'influence de facteurs environnementaux. Dans ce contexte, une compréhension de la dynamique de la végétation et des facteurs de dégradation est nécessaire pour assurer une gestion durable de cet écosystème. Cette étude a pour objectif de contribuer à une compréhension de l'évolution du paysage de la forêt sur les trois dernières décennies, afin de proposer une stratégie de gestion durable. Elle s'appuie sur des images satellites multispectrales de Landsat, des données pluviométriques et d'enquête collectées auprès de 145 personnes. Les images ont été utilisées pour la classification supervisée afin d'analyser l'évolution des classes d'occupation du sol. Les valeurs du NDVI ont été extraites puis soumises au test de Mann-Kendall afin de détecter les tendances dans la série temporelle du NDVI. Les perceptions sur les facteurs de dégradations ont été analysées à travers le calcul des taux de réponse et des valeurs consensuelles. Les résultats montrent que la végétation dense a fortement diminué au profit de la végétation clairsemée et des sols nus. En effet, le taux de changement de la couverture végétale entre 1988 et 2024 a mis en évidence une forte progression des sols nus (+1733,09%) et de la végétation clairsemée (+56,81%). En revanche, une régression de la végétation dense (-78,83%), et des infrastructures et bâtis (-11,94%) ont été observée. La FCM est perçue comme occupé anarchiquement (44,88%), très dégradée (44,09%) et fragmentée (41,73%). Ce phénomène est dû selon les enquêtés à l'intensification de la culture maraîchère (54,03%) à l'intérieur de la forêt. En outre, les installations anarchiques (67,74%) et la pression foncière (60,48%) sont à l'origine de la fragmentation du paysage forestier. La régression linéaire montre une relation significative et positive entre le NDVI et la pluviométrie ($R^2=0,37$), indiquant que 37% de la variation du NDVI est expliquée par les précipitations. La part non attribuable aux précipitations est liée à d'autres facteurs, notamment les activités humaines qui semblent y avoir un impact considérable. Le plan d'aménagement présente un niveau de mise en œuvre relativement satisfaisant. Toutefois, il semble être inadapté aux enjeux actuels.

Mots clés : Forêt classée de Mbao, Sénégal, classes d'occupation des sols, NDVI, facteurs de dégradation

ABSTRACT

The Mbao Classified Forest, like other forests in Senegal, is facing degradation due to environmental factors. In this context, an understanding of vegetation dynamics and degradation factors is necessary to ensure sustainable management of this ecosystem. The aim of this study is to contribute to an understanding of how the forest landscape has changed over the last three decades in order to propose a sustainable management strategy. It is based on Landsat multispectral satellite images, rainfall data, and survey data collected from 145 people. The images were used for supervised classification to analyze changes in land cover classes. NDVI values were extracted and then subjected to the Mann-Kendall test to detect trends in the NDVI time series. Perceptions of degradation factors were analyzed by calculating response rates and consensus values. The results show that dense vegetation has greatly decreased in favor of sparse vegetation and bare land. Indeed, the rate of change in vegetation cover between 1988 and 2024 showed a sharp increase in (+1733.09%) and sparse vegetation (+56.81%). On the other hand, a decline in dense vegetation (-78.83%) and infrastructure and buildings (-11.94%) was observed. The FCM is perceived as being occupied in an unregulated manner (44.88%), highly degraded (44.09%) and fragmented (41.73%). According to respondents, this phenomenon is due to the intensification of market gardening (54.03%) within the forest. In addition, uncontrolled settlements (67.74%) and land pressure (60.48%) are causing the fragmentation of the forest landscape. Linear regression shows a significant and positive relationship between NDVI and rainfall ($R^2=0.37$), indicating that 37% of the variation in NDVI is explained by precipitation. The portion not attributable to rainfall is linked to other factors, particularly human activities, which appear to have a considerable impact. The management plan has been implemented to a relatively satisfactory degree. However, it appears to be ill-suited to current challenges.

Keywords : Mbao Classified Forest, Senegal, land use classes, NDVI, degradation factors

1- Introduction

1.1 - Contexte et justification

Les forêts et autres terres boisées couvrent près de 4 milliards d'hectares à l'échelle mondiale, représentant environ 30% des terres émergées ([Organisation des nation unies pour l'alimentation et l'agriculture \[FAO\], 2018](#)). Elles constituent l'un des écosystèmes terrestres les plus productifs et jouent un rôle vital à l'échelle planétaire ([Nations Unies, 2017](#)). Selon le même auteur, environ 1,6 milliard de personnes, soit un cinquième de la population mondiale dépendent directement de ces écosystèmes ([Nations Unies, 2017](#)). Les forêts fournissent des services écosystémiques très importants à tous les niveaux de l'échelle spatiale, qu'elle soit locale ou mondiale ([Forum Forestier Africain, 2022](#)). Selon le même auteur, les forêts réduisent la vulnérabilité des sociétés face au changement climatique et constituent un important réservoir de la biodiversité. Elles assurent la stabilisation et la fertilité des sols, ainsi que la séquestration du carbone.

En Afrique subsaharienne, les forêts constituent une source d'aliments de base pour les communautés rurales et représentent pour elles une source d'aliments d'urgence face aux catastrophes ([Forum Forestier Africain \[FFA\], 2022](#)). Toutefois, elles restent vulnérables dans cette région. En effet, l'augmentation de la température, la rareté et la vulnérabilité des précipitations affectent négativement les écosystèmes forestiers avec pour conséquences la dégradation de l'environnement et des conditions de vie des populations ([Observatoire du Sahara et du Sahel \[OSS\], 2015](#)). Cette situation, aggravée par l'impact des activités humaines sur la couverture végétale conduit à un remplacement progressif de la végétation native par un autre type de végétation, entraînant une modification de la composition et du fonctionnement de l'écosystème ([Agboola & Joseph, 2014; Bamba, 2010; Bogaert & Mahamane, 2009](#)).

Au Sénégal, les écosystèmes forestiers présentent un niveau de dégradation relativement avancé, résultant de facteurs multiples, tant anthropiques que naturels ([Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols \[DEFCCS\], 2022](#)). Sur la plan anthropique, la dynamique de déforestation est principalement induite par l'expansion du front agricole, les activités extractives, les prélevements illicites de bois, les incendies de brousse, les pratiques pastorales inadaptées, ainsi que les contrats de culture. Ces activités ont entraîné une réduction significative de la superficie forestière, qui passe de 14,649 millions d'hectares en 1990 à 13,803 millions en 2010 ([Nations Unies, 2019](#)). Parallèlement, plusieurs facteurs naturels exacerbent cette dynamique, notamment la sécheresse, la forte salinisation des eaux et des sols, l'érosion, etc. ([Nations Unies, 2019](#)). Le pays perdrait en moyenne 40 000 ha de forêt chaque année ([FAO, 2020a](#)). En réponse à cette forte agression, certaines zones de refuge ont été érigées en forêts classées dont l'objectif était de trouver des sites appropriés à la conservation de la biodiversité ([Silue et al., 2021; Tankoano et al., 2016](#)). Malgré ces efforts, le Sénégal a connu une perte de près de la moitié de ces espaces de conservation en 35 ans ([USAID, 2008](#))

La Forêt Classée de Mbao (FCM), l'une des reliques forestières de la région de Dakar (Sénégal) n'est pas en reste face au phénomène de la dégradation de la ressource. Forêt urbaine et poumon vert de la capitale Sénégalaise, elle contribue à la régulation du climat, à l'atténuation des pollution générées par la forte concentration des industries et à la recharge des nappes phréatiques ([Fall & Ndione, 2022](#)). En outre, elle fournit un habitat pour des espèce animales

et végétales, joue un rôle socioéconomique très important pour les populations riveraines à travers ses services écosystémiques et contribue à l'éducation environnementale.

Toutefois, à l'instar des forêts tropicales sèches, cet écosystème fait face à un risque existiel. En effet certaines espèces, notamment végétales, tendent à disparaître sous l'effet des facteurs environnementaux ([Fall et Ndione, 2022](#)). Dans ce contexte, une compréhension approfondie de la dynamique de la végétation de la FCM apparaît comme un enjeu majeur pour assurer une gestion durable de cet écosystème forestier semi-aride et urbain.

Les travaux menées par [Seck \(2023\)](#) sur la dynamique spatio-temporelle de la FCM révèlent une dégradation de la couverture végétale. Par ailleurs, l'auteur considère les actions anthropiques comme les principaux facteurs de dégradation de la ressource, sans toutefois évaluer l'effet de la variabilité climatique sur la dynamique de la végétation. Cependant, [Belem et al. \(2018\); Orou N'Gobi \(2019\); Servant et Servant-Vildary \(1996\)](#) ont montré que le climat, tout comme les actions anthropiques, joue un rôle déterminant dans l'évolution des écosystèmes forestiers. Les travaux de [Tounkara \(2021\)](#) ont mis en évidence une régression du couvert végétal dans les grandes Niayes de Pikine et la FCM. Selon cet auteur, cette dégradation est principalement attribuée aux déficits pluviométriques liés à la sécheresse des années 1970-1980 ainsi qu'aux diverses pressions anthropiques exercées sur la forêt. Pourtant, en ce qui concerne spécifiquement la FCM, il ne précise pas dans quelle mesure chaque facteur contribue à cette à cette dynamique. Par ailleurs, [Seck \(2023\) et Tounkara \(2021\)](#) ont accordé moins d'attention à la stratégie de gestion et/ou de préservation de ce poumon vert de la ville de Dakar.

Ainsi, la gestion durable de la FCM nécessite un diagnostic de la problématique combinant les paramètres climatiques et les actions anthropiques, afin de contribuer, d'une part, à une meilleure compréhension des facteurs de dégradation et, d'autre part, à une amélioration de la gestion de la ressource forestière. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude intitulée « **Dynamique paysagère de la forêt classée de Mbao : impacts climatiques et anthropiques et perspectives de gestion durable** ».

1.2 - Objectifs, questions et hypothèses de recherche

1.2.1 - Objectifs de recherche

L'objectif principal de l'étude vise à contribuer à une meilleure compréhension de la dynamique paysagère de la FCM, afin d'élaborer une stratégie de gestion durable.

De façon spécifique, il s'agit de :

- i) caractériser l'évolution paysagère de la FCM au cours des trois dernières décennies (1988-2024) ;
- ii) mettre en évidence les facteurs de changement du paysage de la FCM au cours de cette période, en déterminant leur part respective dans l'évolution de la forêt ;
- iii) analyser l'efficacité de la stratégie actuelle de gestion appliquée à la FCM.

1.2.2 - Questions de recherche

Afin de mieux comprendre les impacts climatiques et anthropiques sur la FCM, et d'orienter sa gestion durable, les questions de recherche suivantes ont été examinées :

- i) quelle a été la dynamique paysagère de la FCM au cours des 37 dernières années ?
- ii) quels sont les facteurs causaux et quel est leur degré d'implication dans la dynamique observée ?

- iii) dans quelle mesure la stratégie de gestion actuelle de la FCM permet-elle d'assurer une gestion durable de cet espace classé ?

1.2.3 - Hypothèses de recherche

L'étude a permis de vérifier les hypothèses suivantes :

- i) la FCM connaît une tendance régressive de sa couverture végétale au cours de ces trois dernières décennies ;
- ii) la variabilité climatique est l'un des facteurs majeurs, voire prédominants dans la dynamique de la FCM.
- iii) la stratégie de gestion actuelle de la FCM ne garantit pas une gestion durable de cet espace forestier.

1.2.4 - Contribution de l'étude

Cette étude vise à exploiter la télédétection et les données d'enquête pour le suivi de la dynamique spatio-temporelle du paysage de la FCM dans un contexte de changement climatique et de forte urbanisation de la région de Dakar. Cette approche combinée utilise les perceptions des populations locales sur les tendances évolutives de la végétation pour contextualiser les observations fournies par la télédétection. Les résultats obtenus pourraient contribuer à orienter les prises de décisions vers des stratégies adaptées aux enjeux émergents pour une gestion durable de cette forêt semi-aride, urbaine et unique poumon vert de la région de Dakar. L'étude s'inscrit dans l'Objectif de Développement Durable (ODD) 15, visant à préserver et restaurer les écosystèmes terrestres.

Elle est structurée en quatre parties. La première présente l'état de connaissances de la thématique. La deuxième décrit le matériel et la méthodologie mobilisés. La troisième expose les résultats et leurs discussions. Enfin, la dernière partie propose une conclusion assortie de recommandations pour une gestion durable et efficace de la FCM.

2- État de connaissances

2.1- Définition de concepts

❖ Dynamique

Selon le dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature, la dynamique désigne l'évolution spatio-temporelle des milieux naturels et semi-naturels, caractérisée par des changements dans la composition spécifique, la structure et le fonctionnement des écosystèmes (Triplet, 2015). Selon l'auteur, la végétation constitue le principal descripteur du changement pour les milieux terrestres. Thioune, (2022) précise que la dynamique correspond à l'ensemble des changements observables sur un espace donné. Elle implique des transformations spatio-temporelles, aussi bien des phénomènes écologique, spatial que social. Selon l'auteur, la dynamique désigne tout changement en cours, pouvant être une croissance ou une régression. Dans ce contexte, toute organisation du vivant est dynamique, car elle est soumise à des forces de transformation constante (Thioune, 2022).

En somme, le terme dynamique est défini comme un changement qui résulte de l'interaction de forces qui agissent sur un système donné, dont les modalités traduisent l'intensité, la direction et la nature des évolutions (Thioune, 2022).

❖ Climat et variabilité climatique

Le dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature reprend la définition du climat proposée par l'Organisation météorologique mondiale, selon laquelle le climat est la « synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère », y compris les changements saisonniers (Triplet, 2019). Il peut donc être défini comme étant le calcul des moyennes des variables, notamment la température, les précipitations, l'humidité ou la pression atmosphérique sur au moins trois décennies. De même, il inclut leur variabilité et leurs valeurs extrêmes (Triplet, 2019). Dans ce sens, la variabilité climatique est l'ensemble des fluctuations naturelles du climat observées dans les moyennes et d'autres données statistiques sur différentes échelles spatio-temporelles. Elle se différencie des phénomènes climatiques ponctuels par sa portée plus large et sa fréquence (Triplet, 2019).

❖ Impacts climatiques et pression anthropique

Les impacts climatiques désignent les effets que les variations du climat peuvent entraîner sur les systèmes naturels et humains. Ces impacts se manifestent, entre autres, par des modifications dans la répartition des espèces, les cycles biologiques et la reproduction des êtres vivants (Triplet, 2019).

La pression anthropique désigne « un facteur de stress provoqué par les activités humaines, susceptible de causer des perturbations, des dommages, ou la disparition temporaire ou définitive de certains éléments de l'écosystème (Triplet, 2019).

❖ Gestion durable

Concept apparu lors de la Conférence de Rio en 1992, la gestion durable désigne « la manière d'exploiter les ressources naturelles, notamment forestières, de façon à satisfaire les besoins des populations actuelles en biens et services, sans nuire la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins » (Triplet, 2019). Selon l'auteur, cette notion a été précisée et adaptée selon les contextes régionaux. En Europe, elle repose notamment sur les six critères d'Helsinki, définis lors de la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en 1993, à savoir le maintien des capacités de production et du bon état sanitaire des forêts, la satisfaction

des fonctions de production en produits forestiers ligneux et non ligneux, le respect de la biodiversité, la protection des sols et des ressources en eau, ainsi que la fourniture de services écosystémiques ([Triplet, 2019](#)).

❖ Forêt

Selon la [FAO \(2020b\)](#), une forêt est caractérisée par un terrain d'au moins 0,5 hectares de superficie, occupés par des arbres pouvant atteindre au moins 5 mètres de haut et d'au moins 10 % de couverture forestière, étant exclues les terres à vocation principalement agricole ou urbaine. Dans le contexte sénégalais, la [Loi N°2018-25 portant Code forestier. \(2018\)](#) définit la forêt comme étant un terrain recouvert à 10% au moins d'une formation d'arbres pouvant atteindre au moins deux mètres à maturité, d'arbustes ou de broussailles d'une superficie minimale d'un demi hectare d'un seul tenant.

❖ Forêt classée

La [Loi N°2018-25 portant Code forestier. \(2018\)](#) définit la forêt classée comme étant une forêt constituée en vue de la conservation des sols, des eaux, de la diversité biologique et d'écosystèmes particuliers ou fragiles et de la garantie d'une production durable par tout moyen approprié de gestion ou de protection.

❖ Plan d'aménagement forestier

Le plan d'aménagement forestier est un document de planification et de gestion forestière qui récapitule l'ensemble des analyses, les synthèses, la définition des objectifs assignés à la forêt, la durée d'aménagement et les modalités de gestion ([Loi N°2018-25 portant Code forestier., 2018](#)).

2.2- Ressource forestière du Sénégal

Le Sénégal dispose d'une diversité de formations végétales, notamment les steppes, les savanes et les forêts, en fonction du gradient climatique et des conditions topographiques et édaphiques, dont la richesse spécifique est estimée à 3 641 espèces végétales réparties entre 1 277 genres ([Nations Unies, 2019](#)). En 2010, la superficie totale de la couverture forestière du Sénégal était estimée à 13 384 029 hectares, dont 8 473 153 hectares de forêts, et 4 910 876 hectares d'autres terres boisées ([FAO, 2010](#)).

Le domaine forestier classé est constitué de 207 forêts classées et de 06 parcs nationaux, couvrant une superficie totale estimé à 7 851 438 hectares, demeurant sous la responsabilité directe de l'État ([DEFCCS, 2022](#)). Quant au domaine forestier protégé, il couvre une superficie d'environ 6 500 000 hectares. On y dénombre 15 aires marines communautaires protégées regroupant des écosystèmes côtiers et marins ([DEFCCS, 2022](#)).

2.3- Urbanisation, déforestation et dégradation des forêts au Sénégal

Le Sénégal se positionne parmi les pays les plus urbanisés de la sous-région ouest-africaine. Son taux d'urbanisation connaît une progression continue au fil des années. Il est passé de 34 % en 1976 à 39 % en 1988, puis à 40,7 % en 2002 et 45,2 % en 2013 ([ANSD, 2024](#)). Aujourd'hui, il atteint 54,7 %, une tendance à la hausse observée dans toutes les régions du pays ([ANSD, 2024](#)). Selon le même auteur, la région de Dakar, historiquement la plus urbanisée, affiche des taux très élevés depuis plusieurs décennies : 96,3 % en 1976 ; 96,5 % en 1988 ; 97,2 % en 2002. Elle est désormais la seule région totalement urbanisée du Sénégal, avec un taux de 100 %. Les régions de Diourbel, de Thiès et Ziguinchor arrivent respectivement en

deuxième, troisième et quatrième position avec un taux d'urbanisation respectif de 66,9 %, 57,5% et 54,9% (ANSO, 2024). Cette urbanisation rapide engendre des répercussions significatives sur les ressources naturelles, en particulier sur les écosystèmes forestiers. Depuis l'indépendance du Sénégal, l'urbanisation rapide a fortement contribué à la dégradation du couvert végétal à l'échelle nationale. La croissance démographique importante dans les principaux centres urbains a entraîné la disparition progressive des reliques de forêts périurbaines, remplacées par des constructions nouvelles, souvent réalisées en l'absence de planification urbaine (Manga, 2019). Cette urbanisation entraînant une perte de végétation avec le risque de disparition des espèces locales restantes (Bamba, 2010; Seck, 2023).

Le processus d'urbanisation entraîne des changements profonds dans l'utilisation des terres et la configuration des paysages. Son accélération provoque des transformations de plus en plus marquées des structures paysagères naturelles, contribuant ainsi à la dégradation des écosystèmes. La mise en place d'infrastructures routières au cours de ce processus participe à la fragmentation de ces écosystèmes et facilite leur accès par les populations environnantes (Seck, 2023). À long terme, cette fragmentation conduit à la dégradation des ressources et des habitats naturels, à la perte de biodiversité, à l'invasion d'espèces exotiques, à l'accentuation de l'érosion des sols ainsi qu'à la diminution de la qualité des eaux, réduisant de ce fait les services écosystémiques rendus aux populations locales (Seck, 2023). Combinée à l'exploitation des ressources naturelles, cette dynamique engendre des impacts significatifs sur la structure, le fonctionnement et l'évolution de la couverture végétale (Seck, 2023). Les villes apparaissent ainsi comme des foyers de dégradation des espaces forestiers, à partir desquels les pressions anthropiques se diffusent progressivement dans le paysage (Bamba, 2010; Seck, 2023).

2.4- Télédétection

La télédétection regroupe l'ensemble des connaissances et techniques permettant de déterminer, à distance et sans contact matériel, les caractéristiques physiques et biologiques d'objets. Elle constitue une source importante de données et d'information pour le suivi environnemental, où elle est fréquemment utilisée pour caractériser l'évolution des paysages forestiers et évaluer le niveau d'altération de la couverture végétale (Bamba, 2010; Dicara, 2020; Tychon & Denis, 2025). Les analyses à différentes échelles temporelles ont permis de caractériser les différents processus de dégradation de l'environnement dans le sahel à partir des images satellitaires à haute résolution (Hountondji et al., 2005). L'indice le plus connu et couramment utilisé pour détecter et évaluer la santé de la végétation est l'indice de végétation par différence normalisé (Dicara, 2020; Hien, 2022; Lemenkova et Debeir, 2023).

2.5- Indice de végétation par différence normalisé (NDVI)

Le NDVI est un indicateur qui repose sur la différence entre les mesures de réflectance spectrale dans les longueurs d'onde du Proche Infra-Rouge (PIR) et du Rouge (Rouse et al., 1974). Il est utilisé pour quantifier la verdure, évaluer la densité de la végétation, et analyser les variations de l'état sanitaire de la couverture végétale selon l'équation suivante :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{Rouge}}{\text{PIR} + \text{Rouge}} \quad (1)$$

Les valeurs de NDVI varient entre -1 et 1, les valeurs négatives indiquent généralement la présence de surfaces d'eau, tandis que les valeurs comprises entre 0 et 0,1 indiquent la présence de sols nus et d'habitations. Celles supérieures ou égal à 0,1 indiquent la présence de la végétation. Par ailleurs, les valeurs les plus élevées indiquent généralement plus de végétation ([Herrero et al., 2019](#); [Sorokoby et al., 2021](#)). Bien que les valeurs qui tendent vers 1, traduisent une végétation dense et en bon état de santé, la plage habituelle du NDVI dans les écosystèmes savanicoles est comprise entre 0,2 et 0,7 ([Herrero et al., 2019](#); [Hountondji et al., 2005](#); [Sorokoby et al., 2021](#)). Selon les travaux de [Nicholson et al. \(1998\)](#) ; [Milich et Weiss \(2000a, 2000b\)](#) cité par [Hountondji et al. \(2005\)](#), l'évolution de la couverture végétale est étroitement corrélée à la variabilité pluviométrique dans la zone sahélienne. Cette corrélation a été mise en évidence par les travaux de [Malo et Nicholson \(1990\)](#), aussi rapportés par [Hountondji et al. \(2005\)](#), qui indiquent que dans cette zone, le NDVI mensuel varie en fonction des précipitations mensuelles.

3- Matériel et méthodes

3.1- Présentation de la zone d'étude

3.1.1- Situation de la Forêt classée de Mbao

La FCM est située en périphérie de la ville de Dakar, dans la commune de Mbao, département de Pikine ([figure 1](#)), entre les longitudes $17^{\circ}10'$ et $17^{\circ}32'$ Ouest, et les latitudes $14^{\circ}35'$ et $14^{\circ}53'$ Nord et est entourée par les communes de Keur Massar et de Diamaguène Sicap Mbao ([Diallo, 2019](#)). En 1908, elle a été immatriculée au nom de l'Etat, puis classée comme espace de conservation de la biodiversité par Arrêté n° 979 SE/F en 1940 ([Gueye et al., 2008](#)). A ce jour, elle s'étend sur une superficie de 722 hectares ([Seck, 2023](#)) et constitue le plus grand massif forestier de la région de Dakar.

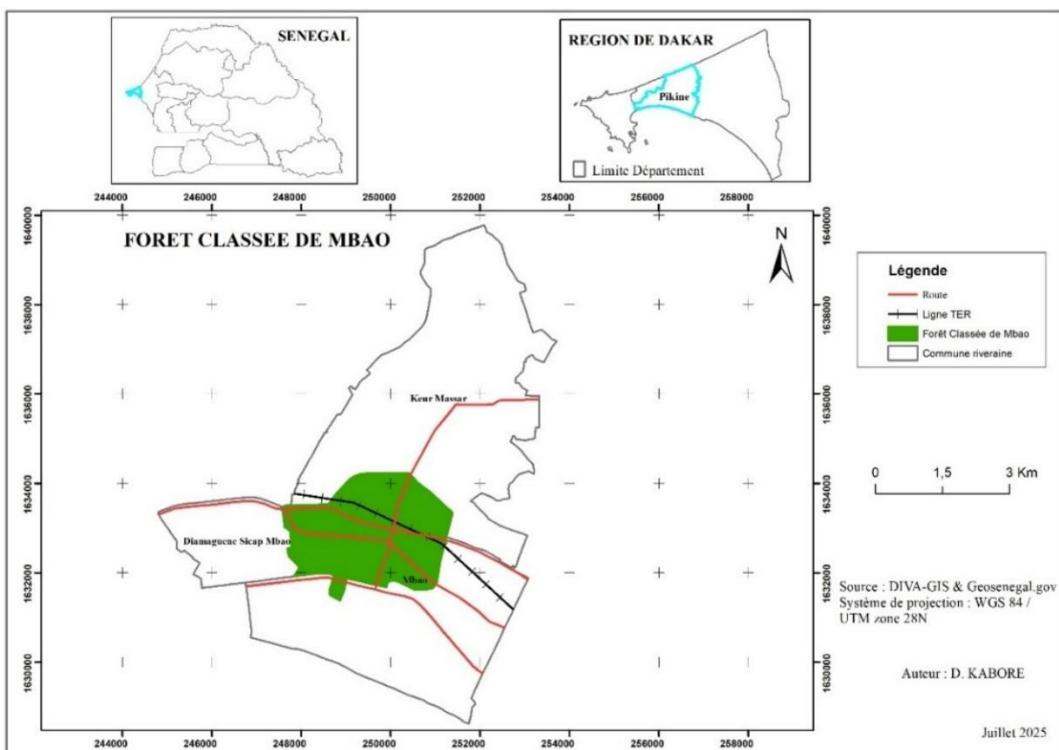


Figure 1 : Localisation de la Forêt classée de Mbao

3.1.2- Climat

Le climat est de type sahélo soudanien côtier dû à l'influence des alizés maritimes pendant une bonne partie de l'année et de la mousson guinéenne de courte durées ([Seck, 2023](#)). Il présente deux saisons distinctes, à savoir une longue saison sèche qui s'étend de novembre à juin et une saison pluvieuse relativement courte. Elle s'étend de juillet à octobre avec une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 500 mm ([Faye, 2019; Seck, 2023](#)). La pluviométrie est marquée d'une part par une répartition spatio-temporelle inégale, et d'autre part par un faible niveau des quantités d'eau enregistrées. La température varie entre 17° et 25° C de décembre à avril et de 27° à 30° C de mai à novembre ([ANSO/SRSD, 2018](#)). La température annuelle moyenne est de l'ordre de $24,9^{\circ}$ C ([Seck, 2023](#)).

3.1.3- Végétation et faune

La végétation de la FCM est une formation végétale mixte, combinant des plantations d'espèce introduites et une diversité d'espèce locales, reflétant les différentes zones écogéographiques du Sénégal. Elle est composée d'arbre et d'arbustes. On y rencontre essentiellement les espèces telles que *Anacardium occidentale*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Prosopis sp*, *Casuarina equisetifolia*, *Faidherbia albida*, *Parinari macrophylla*, *Elaeis guineensis*, *Adansonia digitata*, *Mayetenus senegalensis*, *Saba senegalensis*, *Khaya senegalensis*, *Tamarindus indica*, *Boscia senegalensis* ou encore *Ceiba pentandra* (Faye, 2011).

La FCM constitue un habitat naturel pour la faune, composée de mammifères, de reptiles et d'oiseaux (Gueye et al., 2008). Elle abrite entre autres des espèces telles que *Civettictis civetta* (civette), *Canis aureus* (chacal commun), *Erythrocebus patas* (singe rouge), *Python regius* (python royal), *Poicephalus senegalus* (Perroquet youyou), *Tockus erythrorhynchus* (Petit calao à bec rouge), et *Tockus nasatus* (Petit calao à bec noir) (Gueye et al., 2008).

3.1.4- Population

Pikine est l'un des départements le plus peuplé de la région de Dakar. En 2021, sa population était estimée à 843 201 habitants, avec une densité de 18 330 habitants par km² (ANSD, 2023). Ce département présente une grande diversité ethnique, regroupant principalement les Wolofs, Sérères, Peulhs, Manjacks et Diolas (Gueye et al., 2008).

Selon les projections démographiques 2023-2073, la population des communes riveraines de la FCM est estimée à 630 719 habitants en 2024 (ANSD, 2024). Les communes de Mbao, de Diamaguene Sicap M'bao et de Keur Massar représenteraient respectivement 24%, 23% et 53 % de cette population riveraine (figure 2).

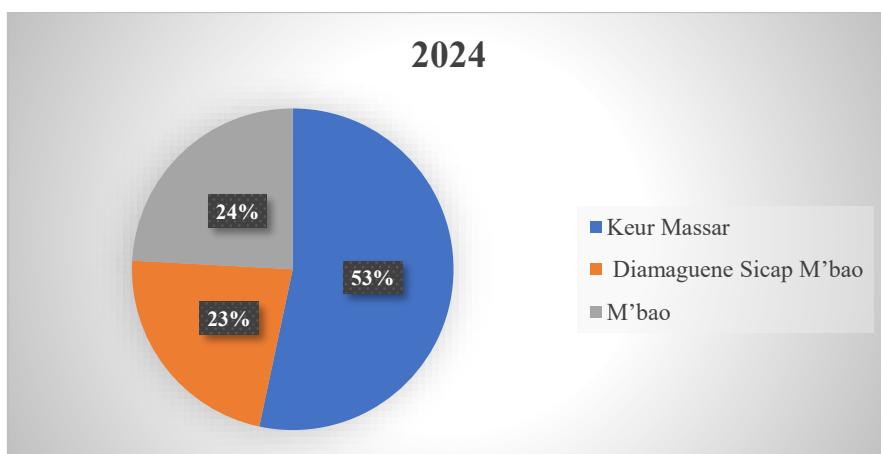


Figure 2 : Répartition de la population riveraine de la FCM selon les communes (ANSD, 2024)

3.2- Données de l'étude

Cette étude s'appuie sur des données climatiques, satellitaires, ainsi que des données d'enquête. La variable climatique considérée est la pluviométrie car selon Cissé (2016) et Hountondji (2008), elle constitue l'élément essentiel qui influence la dynamique forestière dans la zone soudano-sahélienne ouest africaine. Les données ont été acquises auprès de l'Agence Nationale de l'Aviation Civil et de la Météorologie (ANACIM) sur une série chronologique de 37 ans, couvrant la période de 1988 à 2024. La taille de l'échantillon répond aux normes de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) qui préconise une période minimale

d'observation de 30 ans pour toute étude sur l'évolution du climat (Bolakonga et Ozer, 2007; Faye, 2019).

Les images satellitaires de types Landsat couvrant la saison de croissance de la végétation, de septembre à novembre, ont été sélectionnées et téléchargées à partir du référentiel EarthExplorer de l'United States Geological Survey (USGS) « <https://earthexplorer.usgs.gov/> » (Lemenkova et Debeir, 2023; Seck, 2023; Solly et al., 2020). Le choix des produits Landsat s'explique par la fiabilité et l'accessibilité des données, ainsi que par la longueur de leur série temporelle, permettant un suivi efficace de la végétation sur une longue période (Lemenkova, 2024; Lemenkova et Debeir, 2023). Bien que les données NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) couvrent une longue série temporelle, de 1981 à nos jours, les images Landsat se distinguent par leur haute résolution spatiale (30 m sur les canaux multispectraux), mieux adaptée à la taille et à la dynamique spatiale de la FCM. Les images ont été collectées avec un taux de couverture nuageuse inférieur ou égal à 10% afin de limiter les effets liés à la nébulosité fréquente de la zone d'étude. Un jeu de données de 24 images issues de « *Landsat collection 2 level-2 Surface Reflectance Bands* » a été constitué afin d'évaluer l'état de la couverture végétale de la FCM sur la série chronologique de 1988 à 2024. Les images issues de cette collection ont déjà subi un prétraitement de l'USGS (Herrero et al., 2019). La taille réduite du jeu de données s'explique par la non disponibilité d'images de qualité couvrant l'ensemble de la période d'analyse, ainsi que par l'absence d'images pour certaines années de la série temporelle. Les images se répartissent en neuf scènes issues des capteurs Thematic Mapper (TM) de Landsat 4 et 5, quatre scènes issues du ETM+ de Landsat 7 et onze scènes issues des capteurs OLI et TIRS de Landsat 8 et 9 ([Annexe 3](#)).

Afin d'analyser les perceptions de la population locale concernant l'impact climatique et anthropique sur la FCM, la dynamique de la végétation, ainsi que le niveau d'implication communautaire dans la gestion de la forêt, une enquête a été menée, à travers des entretiens directifs (Gnahore et al., 2021). Les données ont été collectées dans les communes riveraines de la FCM, à savoir la commune de Mbao, de Diamaguène Sicap Mbao et de Keur Massar. Les individus âgés d'au moins 40 ans et résidant d'au moins 30 ans dans la zone d'étude ont été interviewés selon un échantillonnage aléatoire simple (Dossou-Yovo et al., 2017; Orou N'Gobi, 2019). Ce choix se justifie par la période d'analyse, couvrant les 37 dernières années, ce qui implique que les individus plus jeunes ou récemment installés pourraient ne pas disposer d'une connaissance suffisante de l'évolution du paysage de la FCM (Dossou-Yovo et al., 2017; Ouedraogo et al., 2024). Un guide d'entretien a été élaboré ([annexe 1](#)), validés, puis couplé à l'outil KoboToolbox afin de faciliter la collecte des données. La taille de l'échantillon a été déterminée à partir de la formule de Cochran (1977) selon l'équation suivante :

$$n = \frac{(t^2 * p)(1-p)}{m^2} \quad (2),$$

où **n** = taille de l'échantillon ; **t** = niveau de confiance ; **p** = proportion estimée de la population âgée d'au moins 40 ans ; **m** = marge d'erreur tolérée.

Dans le cadre de cette étude, les paramètres suivants ont été retenus pour le calcul de la taille de l'échantillon : **t**= 1,96 pour un niveau de confiance de 95% ; **p**= 19,4 % de la population cible ([ANSD, 2024](#)) et **m** = 7%. Le choix de cette marge d'erreur s'explique par les contraintes

liées au temps, à l'accessibilité et à la disponibilité des personnes ciblées. Ainsi, la taille de l'échantillon (n) est de 123 personnes.

Des entretiens ont aussi été menés auprès des acteurs impliqués dans la gestion de la FCM, notamment le personnel de l'Administration forestière, du Ministère en charge de l'Environnement, des Collectivités Territoriales, les responsables du Comité Fédéral de surveillance et des Associations œuvrant pour la sauvegarde de la forêt.

Au total, 145 personnes ont été enquêtées, dont 128 riverains, 13 acteurs étatiques et cinq acteurs non étatiques.

L'entretien mené auprès des responsables du comité fédéral de surveillance, ainsi que la revue de la littérature fondée sur les rapports de mise en œuvre du projet du Plan d'Aménagement (PA), ont permis de pallier le manque de réponses des responsables en charge de la gestion de la FCM concernant l'application du PA et de son impact sur la gestion durable de la ressource. Cette approche, déjà utilisée par [Diallo \(2019\)](#), a été adoptée dans le cadre de cette étude afin d'évaluer le niveau de mise en œuvre dudit plan. Ainsi, les activités initialement prévues dans le plan d'action du projet du PA ont été inventoriées, et la grille d'évaluation développée et adaptée par le Groupe National de Travail (GNT) sur la Gestion Durable des Forêts (GDF) et la Certification Forestière, a été utilisée pour cet examen. Le niveau de mise en œuvre des activités, au regard des résultats attendus, a été évalué à l'aide de la notation par attribution de score ([Ahimin et al., 2015](#)). Le score « 0 » est attribué aux activités « *Non réalisées* », « 1 » aux activités « *Partiellement réalisées* » et « 2 » à celles « *Réalisées* ».

3.3- Outils d'analyse

3.3.1- R

R est un logiciel orienté vers le traitement de données et l'analyse statistique. Il s'agit d'un environnement intégré de manipulation de données, de calcul et de préparation de graphique. Il n'est pas qu'un outil d'analyse statistique, mais aussi un langage de programmation.

Dans le cadre de cette étude, la version 4.1.3 a été utilisée pour le traitement des données climatiques, ainsi que l'extraction et l'analyse des valeurs NDVI. Il a permis le calcul de paramètres climatiques, la réalisation de tests statistiques et la production de graphique.

3.3.2- QGIS

QGIS est un logiciel SIG (Système d'information Géographique) « *open source* » et gratuit. Il permet le traitement, l'analyse et la publication des informations géospatiales. Il fonctionne sur diverses plateformes telles que Linux, Unix, macOS, Windows et Androïde. La version 3.34.11 a été utilisée pour le traitement et l'analyse de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol à partir de la classification supervisée des images satellites, ainsi que l'édition et la mise en page cartographique.

3.4- Méthodologie

3.4.1- Caractérisation de la dynamique d'occupation du sol de la Forêt Classée de Mbao

La dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la FCM a été analysée afin d'identifier les changements dans le paysage forestier sur la période d'étude. La méthodologie a consisté en une classification supervisée des images satellites multispectrales haute résolution spatiale (30m) couvrant la zone d'étude ([figure 3](#)). Il s'agit de deux images Landsat 5 TM de

1988 et 2006 et d'une image Landsat 9 OLI et TIRS de 2024. Le traitement des images s'est fait en deux étapes, à savoir le prétraitement et le traitement proprement dit. Ces opérations ont été réalisées à l'aide du « *plugin Semi-Automatic Classification (SCP)* ». Le SCP est un « *plugin open source gratuit* » pour QGIS qui permet la classification supervisée d'images de télédétection, en fournissant des outils pour le téléchargement, le prétraitement et le post-traitement des images (Congedo, 2021).

Le prétraitement regroupe l'ensemble des opérations effectuées pour rendre les images lisibles et superposables (Soumah et al., 2021). Il a consisté à la sélection et au chargement des bandes spectrales dans le logiciel QGIS. Ensuite, un jeu de bande a été créé, suivi du découpage spatial sur les limites de la zone d'étude (fichier shapefile de la FCM). Enfin, les bandes découpées ont été assemblée pour la réalisation de la composition colorée vraie et fausse couleur.

Pour le traitement proprement dit, il a consisté à l'identification des classes d'occupation du sol par analyse visuelle (photo-interprétation) des images. La photo-interprétation est rendue possible grâce à la connaissance de la zone d'étude et à la composition colorée vraie et fausse couleur. Pour chaque classe, des zones d'entraînement ou « *Region Of Interest* » (ROI) de calibration ont été sélectionnés et la classification supervisée à l'aide de l'algorithme « *Random Forest* » a été appliqué. « *Random Forest* » est un algorithme de classification supervisée non paramétrique, développé par Breiman (2001). Il construit un ensemble d'arbres de décision, en utilisant pour chaque arbre un échantillon aléatoire d'observation (pixels) et de variables par tirage aléatoire, afin de réduire l'erreur de biais et d'assurer une faible corrélation entre les arbres. L'affectation finale de la classe d'une observation est réalisée selon le vote majoritaire de tous des arbres (Do et al., 2009; Rakotomala et al., 2015). L'algorithme donne de bons résultats et est reconnu pour sa rapidité et sa robustesse face aux données bruitées (Do et al., 2009). Il a été utilisé dans cette étude en raison de sa performance dans la prédiction de l'occupation du sol, notamment dans le cadre d'analyses spatio-temporelles (Rakotomala et al., 2015).

Ensuite, l'analyse de la séparabilité spectrale des classes a été réalisé afin d'apprécier la précision entre distinction des classes spectrales. En outre, la validation de la classification a été possible grâce à la méthode d'échantillonnage aléatoire stratifié sur 100 points suivant l'équation de détermination du nombre de point de validation ([équation 5](#)) (Denis, 2021). Pour les besoins de la validation, des relevés ont été effectué sur le terrain pendant la phase de collecte des données à l'aide du « *Global Positioning System* » (GPS). La matrice de confusion a été produit après la validation afin d'évaluer la précision de la classification. Pour mieux appréhender les évolutions survenues sur la période d'étude, les superficies des classes d'occupation du sol, ainsi que les taux de changement ou de conversion (Tc) ont été calculés selon l'[équation 6](#) présenté ci-après (Ayena et al., 2017; Sorokoby et al., 2021). En fin, des cartes d'occupation du sol de la FCM ont été élaborées.

$$N_i = [(N/c) + N \times W_i] / 2 \quad (5),$$

Où N_i est le nombre de point de validation d'une classe i donnée, N est le nombre de points de validation total, c le nombre de macro-classes à valider et W_i le pourcentage surfacique de chaque classe dans l'image classifiée.

$$Tc = [(S_f - S_i) / S_i] \times 100 \quad (6),$$

où S_i est la superficie de la classe au temps initial et S_f la superficie de la classe au temps final. Le taux de changement (Tc), souvent utilisé dans les études sur l'évolution de l'occupation du sol, permet d'estimer les gains (valeurs positives) ou les pertes (valeurs négatives) de superficie des différentes classes (Sorokoby et al., 2021).

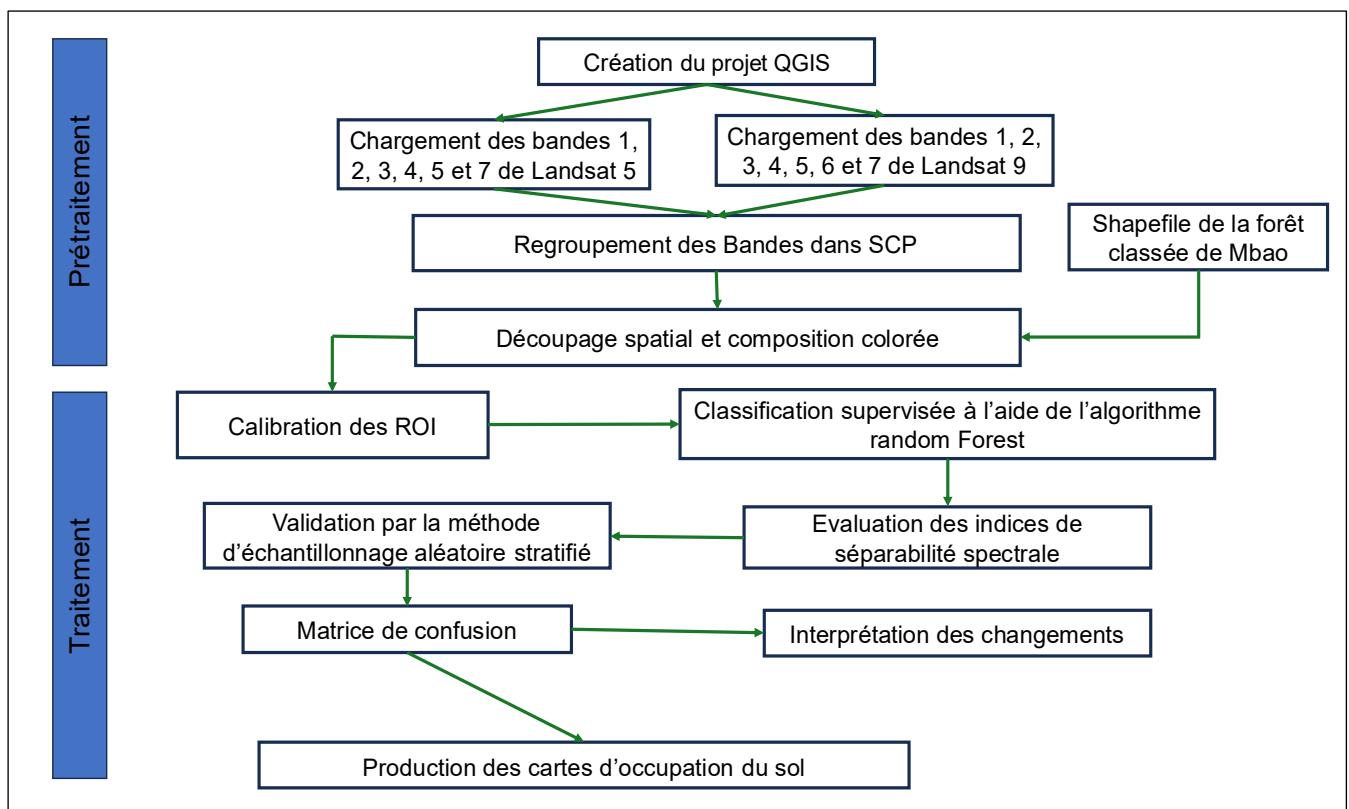


Figure 3 : Schéma méthodique des opérations de la classification supervisée

3.4.2- Caractérisation des facteurs de changement du paysage de la Classée de Mbao

Afin d'analyser la dynamique de la végétation sur la période d'étude, les images satellitaires ont été importées dans l'environnement R à l'aide du package « *terra* », utilisé pour le traitement des données spatiales rasters et vectorielles. Elles ont ensuite été converties en réflectance de surface, qui constitue une étape préalable indispensable pour garantir la comparabilité temporelle des valeurs spectrales. Ensuite, le NDVI a été calculé à partir des bandes rouges et proches infrarouges, les valeurs hors bornes (négatives ou supérieures à 1) ont été filtrées car elles sont considérées comme aberrantes et non exploitables. La zone d'étude a été reprojectée dans le même système de coordonnées que les images satellitaires, afin d'assurer une superposition spatiale correcte. Le raster NDVI a été découpé et masqué de manière à ne conserver que les pixels situés à l'intérieur des limites de la zone d'étude. Enfin, les valeurs de NDVI pixélisées ont été extraites et exportées sous forme tabulaire au format CSV, à l'aide du package « *readr* » (Wickham et al, 2024). Ces données ont permis d'analyser l'évolution spatio-temporelle du paysage de la FCM entre 1988 et 2024, et par période temporelle (1989-2007 et 2009-2023). L'évolution spatio-temporelle du paysage de la FCM entre 1988 à 2024 a été analysée à l'aide du test de Mann-Kendall (1975), appliqué au NDVI moyen. Cette méthode

statistique non paramétrique a permis de détecter les tendances dans la série temporelle. Elle repose sur le calcul de la statistique des tendances (S) et du tau ou coefficient de corrélation de Mann-Kendall (T) selon les formules présentées à l' [équation 3 et 4](#) (Drouiche et al., 2019; Hien, 2022). La pente de Sen a été estimée pour déterminer l'ampleur de la tendance dans la série temporelle. Elle correspond à la médiane de toutes les pentes calculées entre chaque paire de points et est robuste pour l'estimation des tendances dans les séries courtes et bruyantes. (Drouiche et al., 2019; Rasmussen et al., 2014; Toure et al., 2022).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Sgn(y_i - y_j) \quad (3),$$

Où $\begin{cases} Sgn(y_i - y_j) = 1, \text{ si } (y_i - y_j) > 0 \\ Sgn(y_i - y_j) = 0, \text{ si } (y_i - y_j) = 0 \\ Sgn(y_i - y_j) = -1, \text{ si } (y_i - y_j) < 0 \end{cases}$

y_i à y_j représentent les valeurs moyennes du NDVI sur la période d'étude.

$$T = \frac{2s}{n(n-1)} \quad (4),$$

Où ; n représente la longueur de la série temporelle étudiées ; T varie entre -1 et +1, et indique la direction et l'intensité de la tendance : $T > 0$: tendance croissante ; $T < 0$: tendance décroissante ; $T = 0$: absence de tendance.

Le test est appliqué au seuil de significativité $\alpha = 5\%$, sous l'hypothèse nulle H_0 : « *il n'existe pas de tendance* », qui est rejetée lorsque le degré de significativité (P-value) est supérieur à (Drouiche et al., 2019). Cette approche est largement utilisée pour l'analyse de la dynamique de la végétation dans les zones sahéliennes (Gansaonré et al., 2020; Solly et al., 2021, 2022; Zoungrana et al., 2018).

En complément de l'analyse de la dynamique de la végétation, les variables climatiques, en particulier la pluviométrie, a également été analysée sur la même période, afin de détecter les changements dans la série chronologique.

L'indice pluviométrique standardisé (SPI) interannuel a été calculé afin de caractériser les années déficitaires (sèches), normales et excédentaires (pluvieuses) au sein de la série temporelle. Les valeurs négatives du SPI indiquent les années sèches, tandis que les valeurs positives traduisent les années pluvieuses. On distingue les catégories suivantes : sécheresse extrême si le SPI ≤ -2 ; sécheresse sévère si $-2 < SPI < -1,5$; sécheresse modérée si $-1,5 < SPI < -1$; normal si $-1 < SPI < 1$; humidité modérée si $1 < SPI < 1,5$; humidité sévère si $1,5 < SPI < 2$ et humidité extrême si $SPI \geq 2$ (OMM, 2012).

En outre, trois méthodes statistiques ont été appliquées afin d'identifier les tendances et les ruptures dans la série pluviométrique : le test non paramétrique de Mann-Kendall, appliqué pour la détection de la tendance, et les tests de Pettitt (1979) et de Buishand U (1984), utilisés pour détecter une rupture sur la série temporelle (Drouiche et al., 2019; Faye et al., 2019; Orou N'Gobi, 2019).

3.4.3- Perception de la population riveraine de la dynamique, l'impact climatique et anthropique, et la stratégie de gestion de la FCM

La perception de la population riveraine concernant la dynamique de la FCM a été analysée à travers le calcul des taux de réponses (F) ([équation 7](#)), tel que proposé par [Dossou et al.\(2012\)](#), [Lougbegnon et al., \(2015\)](#), [Orou N’Gobi, \(2019\)](#) et [Gnahore et al. \(2021\)](#), ainsi que l'estimation des valeurs consensuelles (Cs) ([équation 8](#)) conformément à la méthodologie développée par [Lougbegnon et al. \(2015\)](#). Les formules utilisées sont présentées ci-après :

$$F = \frac{S}{N} \times 100 \quad (7),$$

où **F** est le taux de réponse pour un facteur donné ; **S** le nombre de personne ayant fourni une même réponse par rapport à un facteur donné ; **N** le nombre total de personnes interviewées.

$$Cs = \frac{2ni}{N} - 1 \quad (8),$$

où **Cs** est la valeur consensuelle des types de perception, elle mesure le degré de concordance entre les enquêtés au regard de la perception ; **ni** est le nombre de personnes ayant une perception et **N** le nombre de personne interviewées ([Lougbegnon et al., 2015](#)).

Cs est comprise entre -1 et 1 et traduit le degré de consensus des enquêtes sur une perception ou une autre : si **ni** = N, Cs = 1 : consensus total, tous les enquêtés ont la même perception ; si **ni** = N/2, Cs = 0 : aucune tendance, la perception est partagée entre les enquêtés et si **ni** = 0, Cs= -1 : désaccord total, personne n'a cette perception.

Plus Cs est élevée, plus la perception est largement partagée ; plus elle est faible ou négative, plus il y a absence de perception ou désaccord.

3.4.4- Stratégie de gestion actuelle de la FCM

Afin d'évaluer le niveau de mise en œuvre du plan d'aménagement, les taux de réalisation (TR) des activités prévues ont été calculés par objectif spécifique, selon la formule proposée par [Ahimin et al., \(2015\)](#) ([équation 9](#)). Le taux de réalisation moyen (TRm) a ensuite permis d'apprécier le niveau global d'exécution du plan d'action et, par conséquent, le niveau de mise en œuvre du plan d'aménagement dans son ensemble. Le niveau d'exécution du plan d'action est qualifié de très satisfaisant lorsque le TRm > 70 %, de satisfaisant lorsque 50%≤TRm≤70% et d'insuffisant lorsque TRm<50% ([Ahimin et al., 2015](#)).

$$TR = \left(\sum \frac{\text{score } X_1 \dots X_n}{N} \right) \times 100 \quad (9),$$

où **X_i** représente le score attribué à chaque sous-activités et **N** représente le score total attendu pour l'activité.

4- Résultats

4.1- Dynamique paysagère de la Forêt Classée de Mbao de 1998 à 2024

4.1.1- Dynamique des classes d'occupation du sol

L'identification des classes d'occupation du sol par la classification supervisée des images Landsat de 1988, 2006 et 2024, a permis de mettre en évidence l'évolution de la végétation dans la FCM sur la période de 1988 à 2024. La qualité de la classification a été évaluée par les matrices de confusion qui ont fourni des précisions globales de 94% pour 1988, 96% pour 2006 et 98% pour 2024 ([annexe 4](#)).

En 1988, quatre classes d'occupation du sol ont été identifiées : la végétation dense occupait 63% de la superficie total, suivie de la végétation clairsemée (27%), des infrastructures et bâtis (08%) et des sols nus (02%) ([figure 4a et 4b](#)).

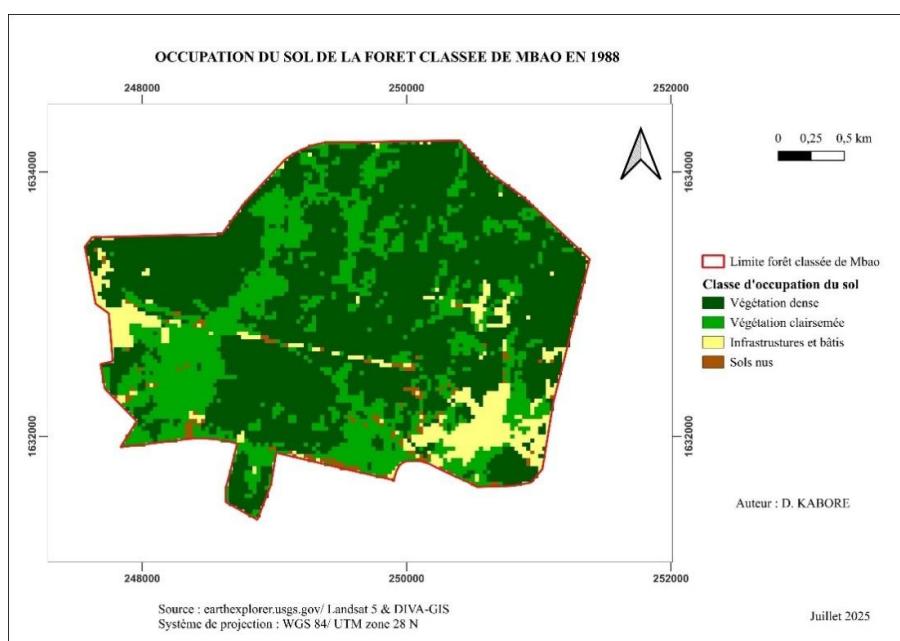


Figure 4a : Classes d'occupation du sol de la FCM en 1988

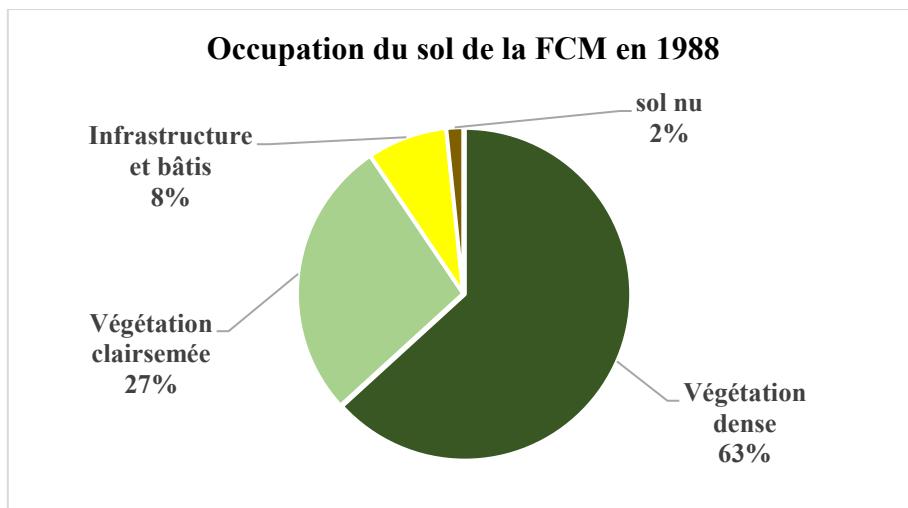


Figure 4b : Proportions des classes d'occupation du sol en 1988

En 2006, on observe une forte régression de la végétation dense (19%) au profit de la végétation clairsemée (72%). Les infrastructures et bâtis ainsi que les sols nus représentaient respectivement 2% et 7% de la superficie totale ([figure 5a et 5b](#)).

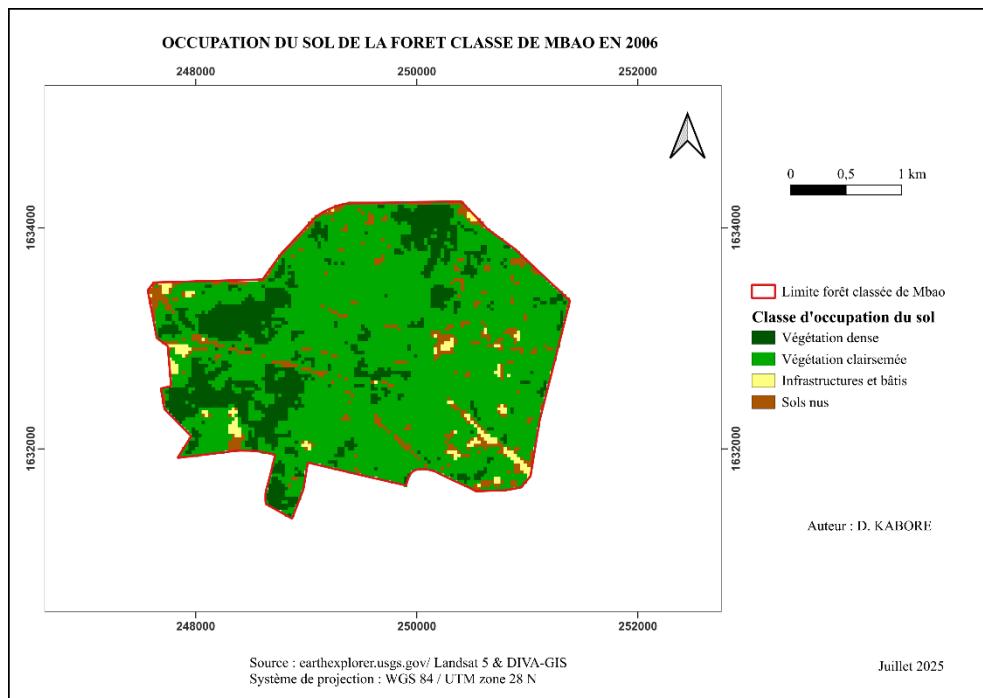


Figure 5a : Classes d'occupation du sol de la FCM en 2006

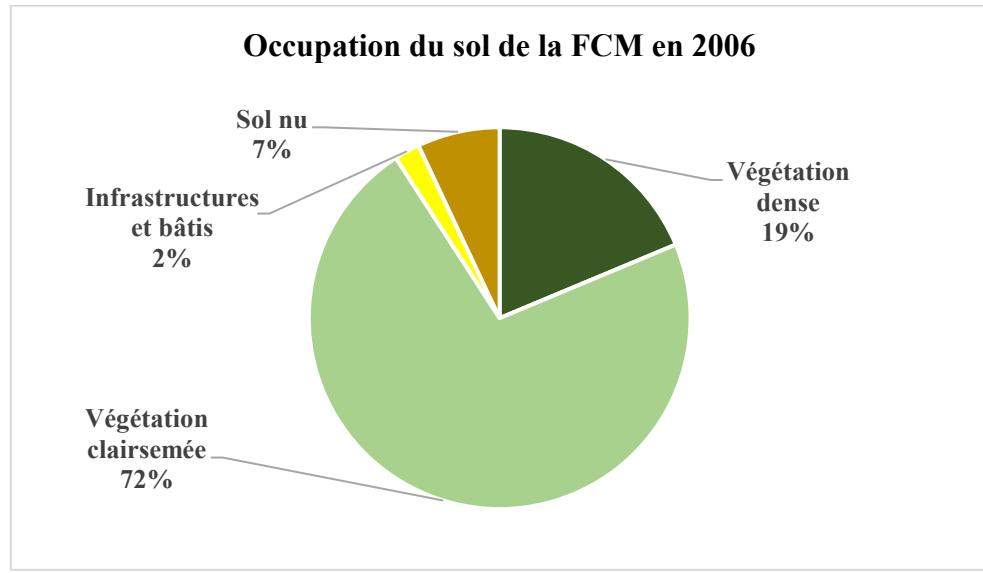


Figure 5b : Proportions des classes d'occupation du sol en 2006

En 2024, la régression de la végétation dense semble se stabilisée légèrement (13%). Toutefois une nouvelle dynamique est observée avec l'apparition d'une nouvelle classe : les plans d'eau, représentant 7% de la superficie. Par ailleurs, la végétation clairsemée régresse (43%), tandis que les infrastructures et bâtis (7%) et les sols nus (30%) connaissent une augmentation significative ([figure 6a et 6b](#)).

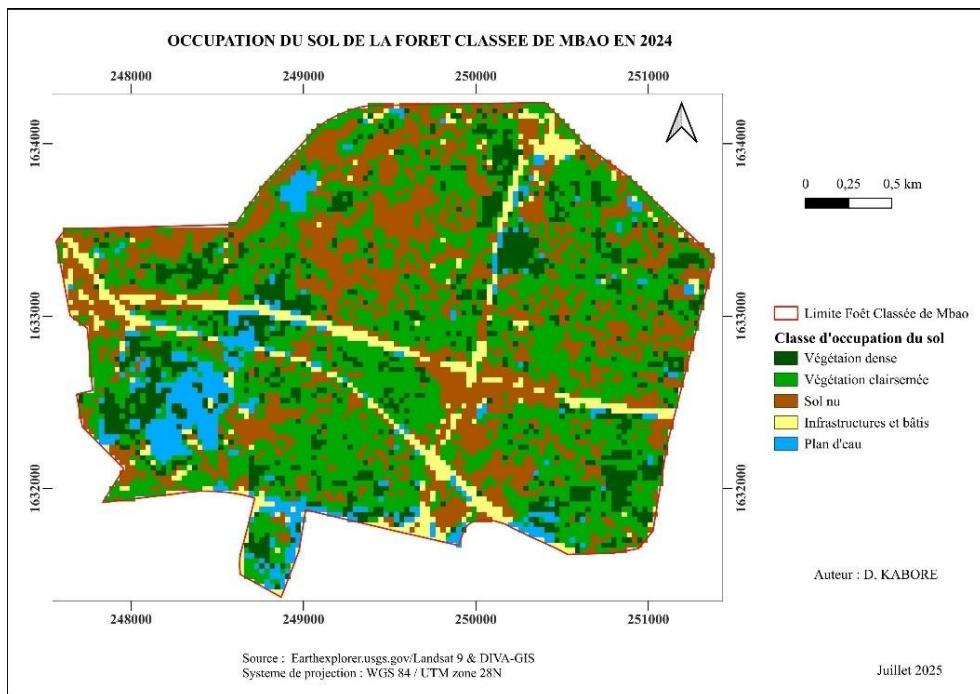


Figure 6a : Classes d'occupation du sol de la FCM en 2024

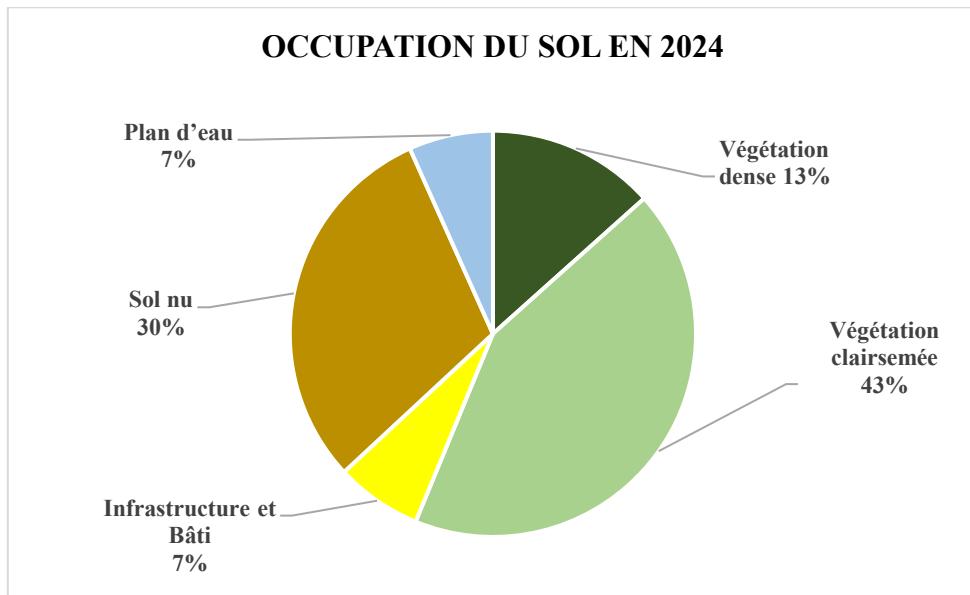


Figure 6b : Proportions des classes d'occupation du sol en 2024

4.1.2- Taux de changement et superficies des classes d'occupation du sol

Le tableau ci-dessous (tableau 1) présente les taux de changement ou de conversion des classes d'occupation du sol de la FCM entre 1988 et 2024.

Globalement, les taux de changement entre 1988 et 2024 mettent en évidence une forte progression des sols nus (+1733,09%) et de la végétation clairsemée (+56,81%). En revanche, on observe une régression de la végétation dense (-78,83%) et des infrastructures et bâtis (-11,94%).

Tableau 1 : Taux de changement des classes d'occupation du sol entre 1988 et 2024

| Classe d'occupation du sol | Taux de changement (%) | | |
|----------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| | 1988-2006 | 2006-2024 | 1988-2024 |
| Végétation dense | -70,42 | -28,43 | -78,83 |
| Végétation clairsemée | 164,17 | -40,64 | 56,81 |
| Infrastructure et bâtis | -72,40 | 219,10 | -11,94 |
| Sols nus | 324,26 | 332,06 | 1733,09 |

Quant à la superficie des classes entre 1988 et 2024 ([figure 7](#)), la végétation dense qui était dominante avec une superficie de 469,8 ha en 1988 décroît à 138,96 ha en 2006, puis à 99,45 ha en 2024. A l'inverse, les sols nus sont passés de 12,24 ha en 1988 à 51,93 ha en 2006, puis à 224,37 ha en 2024. La végétation clairsemée présente une évolution irrégulière. Elle augmente de 202,95 ha en 1988 à 536,13 h en 2006, avant de décroître à 318,24 ha en 2024.

Quant aux infrastructures et bâtis, ils présentent également une évolution irrégulière. Après une baisse de 58,05 ha en 1988 à 16,02 ha en 2006, leur superficie remonter à 51,12 ha en 2024. Les plans d'eau, absents entre 1988 et 2006 sont observé en 2024 avec une superficie de 49,86 ha.

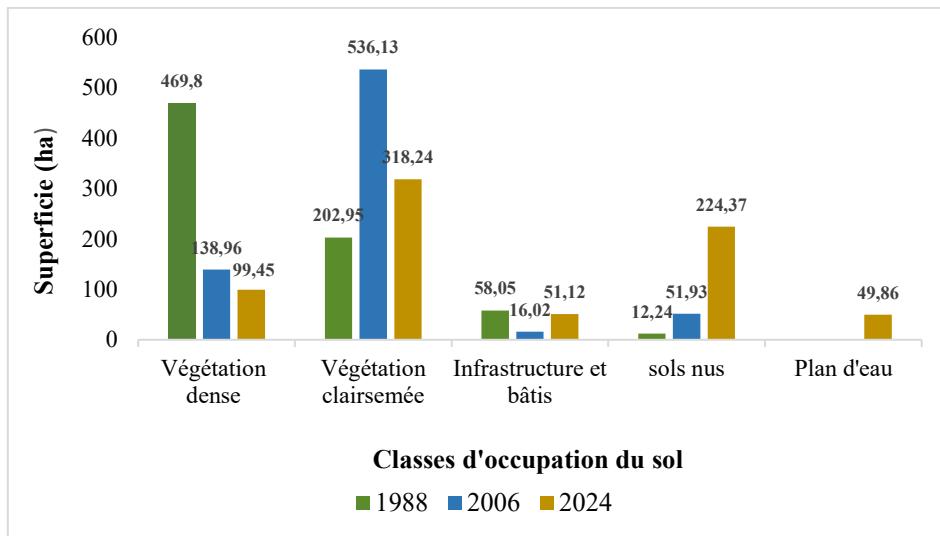


Figure 7 : Evolution des superficies des classes d'occupation du sol entre 1988 et 2024

4.1.3- Perception locale de l'état de la Forêt Classée de Mbao

Selon les résultats de l'enquête, la FCM était globalement perçue par les enquêtés comme étant en bon état (82,81%), avec une régénération de son couvert végétal (30,47%) il y a 30 ans ([tableau 2](#)). Le degré de consensus relativement élevé ($C_s = 0,66$) indique une forte convergence des perceptions des enquêtés sur cette situation.

Cependant, la perception de l'état de la forêt est autre il y a 15 ans. Bien que les enquêtés considèrent la FCM en bon état (46,09%), elle est aussi perçue comme anthropisée (43,75%), dégradée (39,06%) et occupé anarchiquement (35,94%). Les degrés de consensus négatifs, traduisant un désaccord d'opinions quant à la situation réelle de la forêt sur cette période.

Actuellement, la FCM est perçue comme occupé anarchiquement (44,88%), très dégradée (44,09%) et fragmentée (41,73%) et. Les degrés de consensus négatifs, traduisant un désaccord de perception sur la situation actuelle de la FCM.

Tableau 2 : Taux de réponse (F) et degré de consensus (Cs) des enquêtés sur l'état de la FCM

| Etat FCM | Actuelle | | 15 dernières années | | 30 dernières années | |
|-------------------------------|----------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| | F (%) | CS | F (%) | CS | F (%) | CS |
| Bon état | 14,96 | -0,70 | 46,09 | -0,08 | 82,81 | 0,66 |
| Régénération de la végétation | 3,94 | -0,92 | 4,69 | -0,91 | 30,47 | -0,39 |
| Degradé | 37,01 | -0,26 | 39,06 | -0,22 | 4,69 | -0,91 |
| Très dégradé | 44,09 | -0,12 | 9,00 | 0,86 | 10,16 | -0,80 |
| Fragmenté | 41,73 | -0,17 | 35,94 | -0,28 | 11,72 | -0,77 |
| Occupation anarchique | 44,88 | -0,10 | 43,75 | -0,13 | 23,44 | -0,53 |

4.1.4- Perception des manifestations de l'évolution du paysage de la FCM

En rapport avec les manifestations du changement, les enquêtés mettent en évidence une dégradation du couvert végétal (86,78%), suivi d'une disparition d'espèces végétales (77,69%) et de la régression de la superficie de la FCM (72,73%) ([tableau 3](#)). Le degré de consensus associé à ces trois manifestations, respectivement 0,74 ; 0,55 et 0,45 traduit une convergence des perceptions des enquêtés au regard de la dynamique régressive de la végétation de la FCM. Par ailleurs, l'apparition d'espèces végétales envahissantes est mentionnée à 32,23%. Toutefois, le degré de consensus négatif (Cs = -0,36) indique une manifestation aperçue différemment par les enquêtés.

Tableau 3 : Taux de réponse (F) en accord avec la manifestation de changement proposée et degré de consensus des enquêtés (CS) sur le changement observé dans la FCM.

| Manifestation du changement | F (%) | CS |
|--|-------|-------|
| Augmentation de la superficie | 4,13 | -0,92 |
| Augmentation du couvert végétal | 9,92 | -0,80 |
| Diminution de la superficie | 72,73 | 0,45 |
| Régression du couvert végétal | 86,78 | 0,74 |
| Disparition d'espèces végétales | 77,69 | 0,55 |
| Apparition d'espèces végétales envahissantes | 32,23 | -0,36 |

4.2- Facteurs déterminants la dynamique du paysage de la Forêt Classée de Mbao

4.2.1- Variabilité interannuelle des précipitations

4.2.1.1- Indice pluviométrique standardisé (SPI) interannuel

L'analyse de la série chronologique des précipitations met en évidence une forte variabilité interannuelle des précipitations, marquée par une alternance d'années humide et sèche ([figure 8](#)). Le SPI interannuel montre que la pluviométrie a connu deux phases dans son évolution depuis 1988. Globalement, jusqu'en 2004, les SPI sont négatifs indiquant des années déficitaires, à l'exception de 1989 qui fut une année particulièrement humide, avec un cumul annuel de l'ordre de 595,4 mm.

La tendance semble inverse à partir de 2005. Les SPI sont pour la plupart positifs, indiquant des années normales à extrêmes humides. Cependant, quelques années sèches, allant d'une sécheresse sévère à une sécheresse extrême ont été observée respectivement en 2014 et 2018.

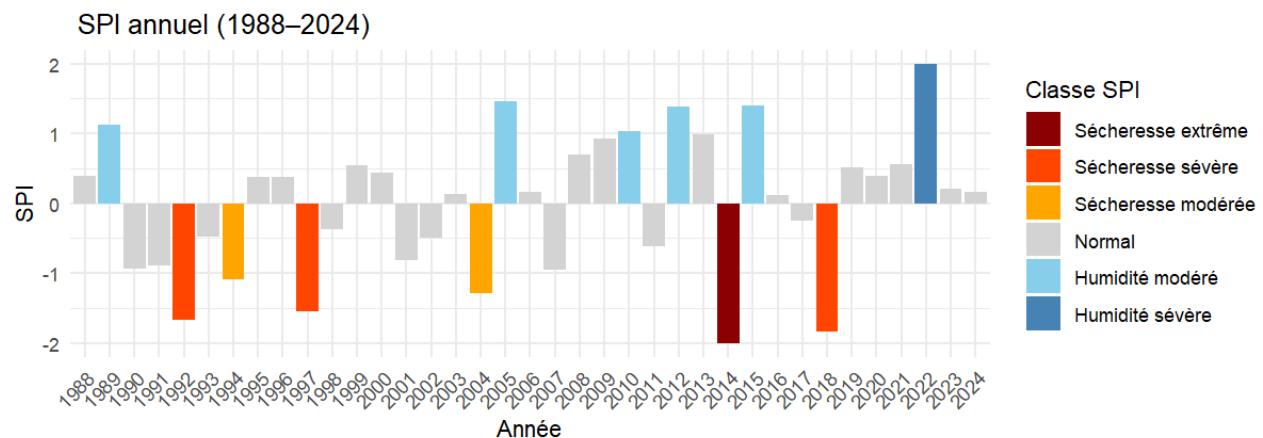


Figure 8 : Indice pluviométrique standardisé de 1988 à 2024

4.2.1.2- Tendance de la série chronologique des précipitations de 1988 à 2024

Le test de corrélation sur le rang de Mann-Kendall appliqué à la série chronologique des précipitations indique une tendance positive ($S = 125$) et modérée ($\tau = 0,188$), suggérant une légère augmentation des précipitations entre 1988 et 2024 (figure 9). Toutefois, cette tendance n'est pas statistiquement significative ($p\text{-value} = 0,1$) au seuil de 5%. Il n'est donc pas possible d'affirmer avec certitude une augmentation des précipitations sur la période d'étude.

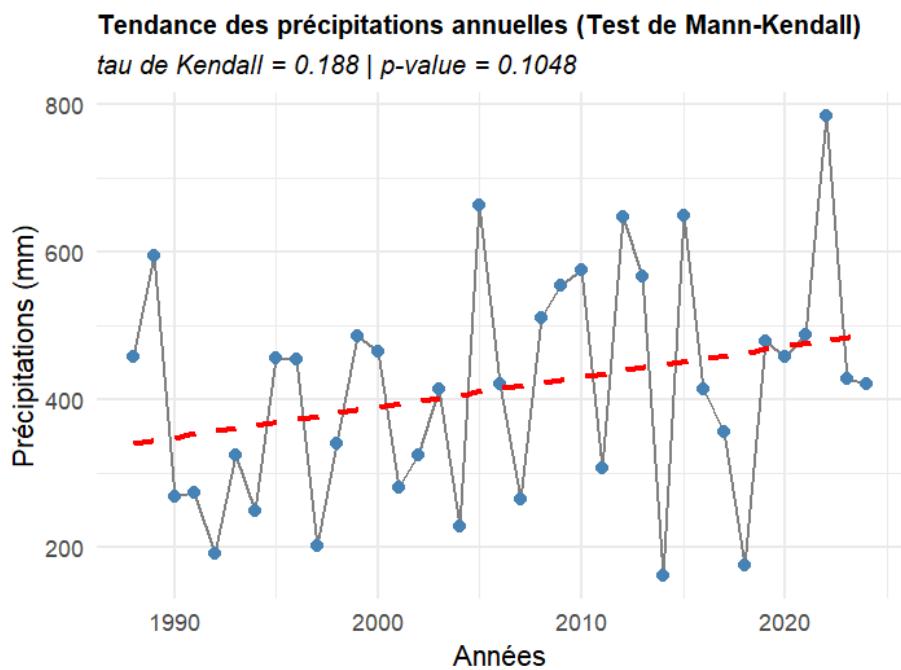


Figure 9 : Tendance des précipitations interannuelles de 1988 à 2024

4.2.1.3- Ruptures dans la série chronologique des précipitations de 1988 à 2024

Les tests de Pettit et de Buishand U appliqués à la série chronologique des précipitations ne révèlent aucunes ruptures dans la série. En effet, les p-values respectivement de 0,2 et 0,09 suggèrent une absence de changement brusque du régime pluviométrique dans la série chronologique. Bien que statistiquement non significatif, une probable rupture est identifiée en 2004 ([figure 10](#)). Les précipitations moyennes des sous séries avant et après cette probable rupture, respectivement de 362,1 mm et 466,8 mm montrent un écart pluviométrique de 104,77 mm, indiquant que la période d'après (2005-2025) est particulièrement plus humide que celle d'avant (1988-2003).

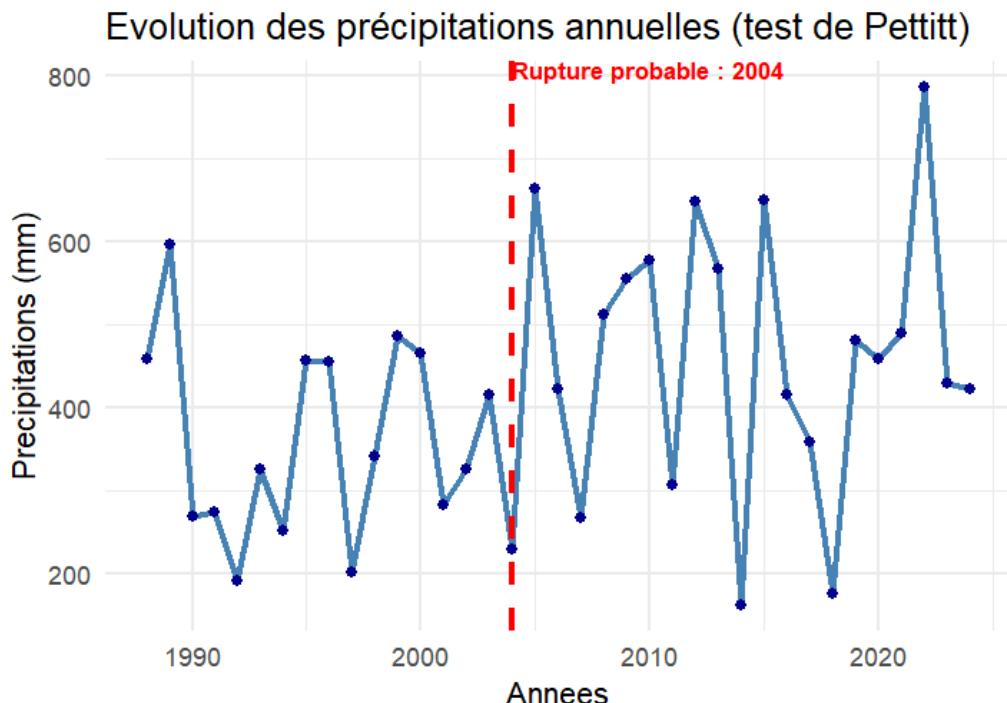


Figure 10 : Rupture dans la série interannuelle de précipitations

4.2.2- Perception du changement dans les paramètres climatiques

La majorité des enquêtés (93,75%) déclare avoir constaté une modification des paramètres climatiques dans leur localité. Cette modification concerne à la fois les précipitations (99,15%), la température (97,46%) et la fréquence des vents (87,29%). Les degrés de consensus relativement élevé à modéré traduisent un accord d'opinion entre les enquêtés.

Concernant particulièrement les précipitations, les modifications se traduisent par de pluies insuffisantes (79,83%), irrégulières et imprévisibles (55,46%), un début tardif (46,22%) et une fin précoce (27,73%) de la saison des pluies ([figure 11](#)).

En outre, ils estiment la pluviométrie annuelle insuffisante pendant la saison écoulée par rapport aux années précédentes (83,46%), avec un consensus modéré (0,31).

Par rapport aux tendances pluviométriques, il déclare qu'elle est baissière, 85,83% et 88,98% de taux de réponse respectif sur les 15 et 30 dernières années. Les valeurs 0,35 et 0,40 traduisent respectivement un niveau de consensus modérés entre les enquêtes.

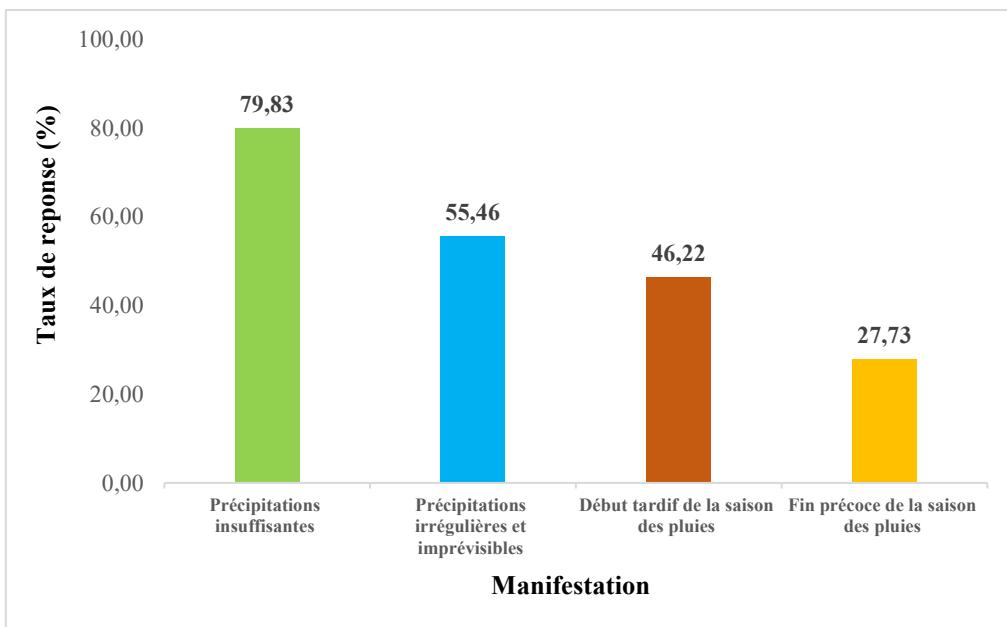


Figure 11 : Perception des enquêtés sur les manifestations de la modification du régime pluviométrique

4.2.3- Suivi de la dynamique paysagère de la FCM à partir de l'indice de végétation par différence normalisé entre 1988 et 2024

4.2.3.1- Evolution spatio-temporelle de l'indice de végétation par différence normalisé entre 1988 et 2024

En 1988, la FCM présente globalement un NDVI compris entre 0,3 et 0,5 au cours de la période de croissance de la végétation ([figure 12](#)). Ces valeurs modérément élevées au centre-sud et au nord-ouest (NDVI allant jusqu'à 0,5) traduisent une végétation relativement dense. Cependant, quelques portions de la partie sud-ouest et sud-est affichent un NDVI inférieur à 0,2 traduisant une dégradation de la végétation dans ces zones.

Entre 1989 et 2007, on constate une légère baisse du NDVI dans plusieurs zones, suivie d'une apparition de trames linéaires correspondant aux infrastructures routières qui traversent la forêt, ce qui témoigne d'un début de fragmentation de la végétation. Cette baisse de NDVI est plus marquée au centre-sud, au nord et au nord-ouest, avec des valeurs inférieures à 0,4.

La période 2009-2023 est marquée par une légère reprise de la végétation dans certaines zones, notamment au nord et au centre, avec des valeurs de NDVI avoisinant 0,4. Toutefois, on note une intensification des infrastructures routières et des sols nus ou bâtis, qui sont de plus en plus visibles. Ce qui traduit une fragmentation de la végétation et une permanence perturbation anthropique dans ces zones.

La situation de 2024 est similaire à celle de la période 2009-2023.

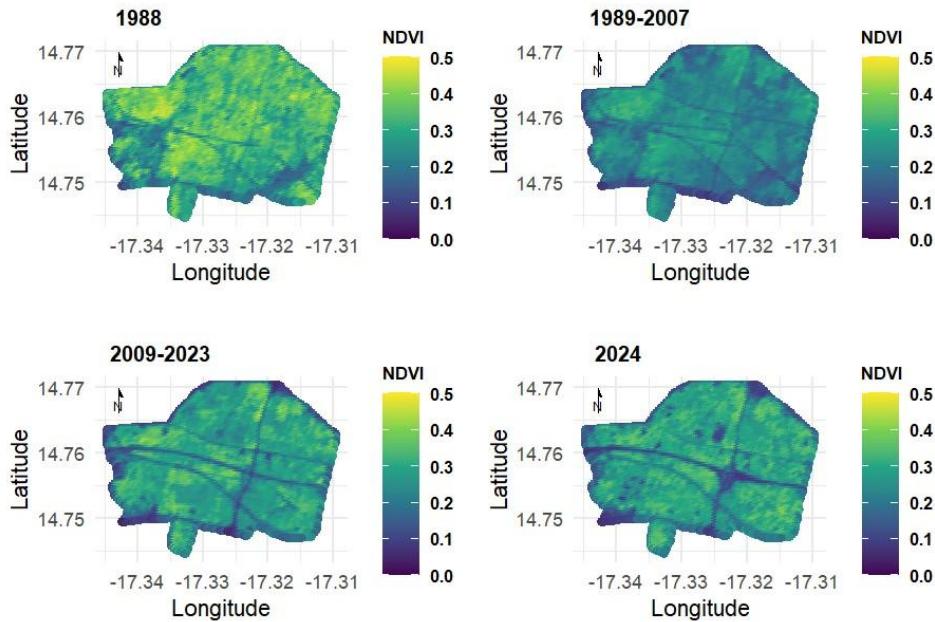


Figure 12 : Dynamique spatio-temporelle du NDVI de la FCM

4.2.3.2- Analyse de l'indice de végétation par différence normalisé moyen sur la période d'étude

Le NVDI moyen de la FCM se situe entre 0,0 et 0,4 pendant la phase de croissance de la végétation (figure 13). Globalement, l'ensemble de la surface forestière présente des valeurs de NVDI comprises entre 0,2 et 0,3, correspondant à une végétation clairsemée. Toutefois, certaines zones du centre, du nord et du nord-ouest, ainsi que du sud présentent des valeurs de NDVI modérément élevées (NDVI = 4), traduisant une végétation relativement dense. Quelques zones situées sur le pourtour de la forêt, ainsi que les trames linéaires qui traversent la forêt présentent des valeurs de NDVI très basses (inférieures ou égale à 0,1), correspondant aux sols nus, aux infrastructures routières ou habitats.

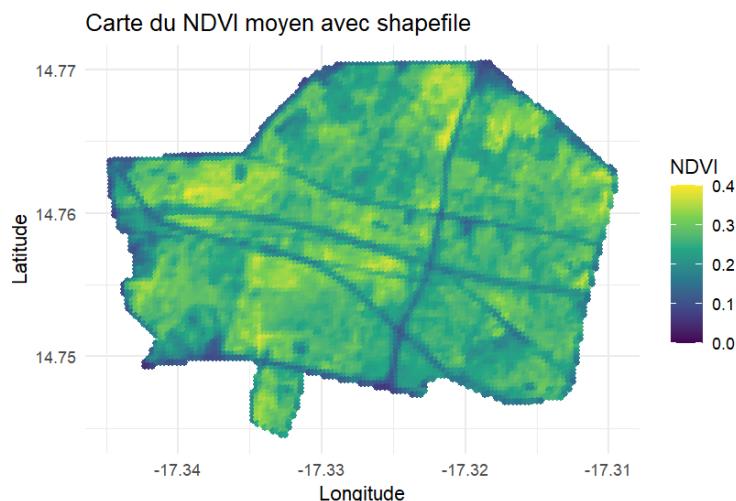


Figure 13 : NDVI moyen de la FCM de 1988 à 2024

L'application du test de Mann-Kendall à la série temporelle du NDVI a permis d'identifier les tendances du NDVI moyen de la FCM sur la période d'étude ([figure 14a](#)). Le tau de Mann-Kendall varie de -0,71 à 0,79, traduisant une baisse du NDVI dans certaines zones ($t < 0$) , alors que d'autres zones, notamment le nord, le sud et le sud-est de la forêt indiquent une croissante ($t > 0$). Les p-values associées indiquent des tendances statistiquement significative ($p\text{-value}=0,001$) à non significative ($p\text{-value}=1$) ([figure 14b](#)). Les tendances significatives s'observent au nord, au sud-ouest et au sud-ouest.

Globalement, la FCM présente une tendance positive du NDVI moyen ($S=53$), traduisant une croissance modérée de la végétation ($t = 0,2$). Toutefois, elle n'est pas statistiquement significative ($p\text{-value} = 0,11$). Par ailleurs, la pente de Sen suggère une augmentation annuelle du NDVI de 0,003 sur la période d'étude.

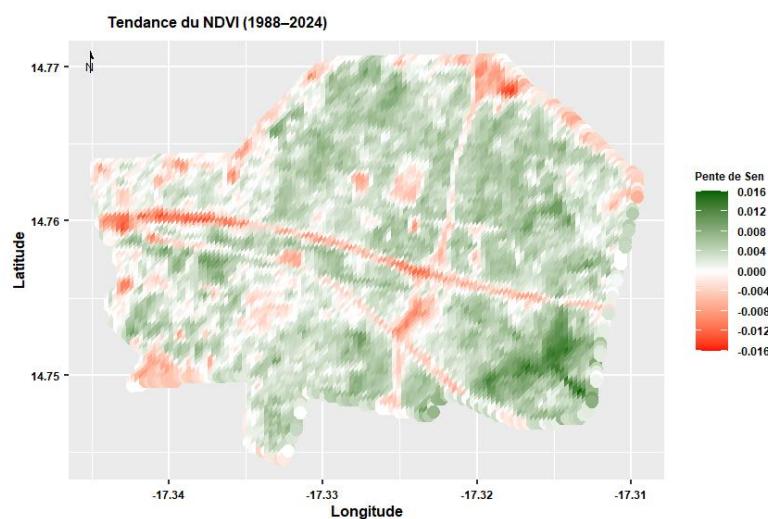


Figure 14a : Test de Mann-Kendall sur la série temporelle du NDVI entre 1988 et 2024

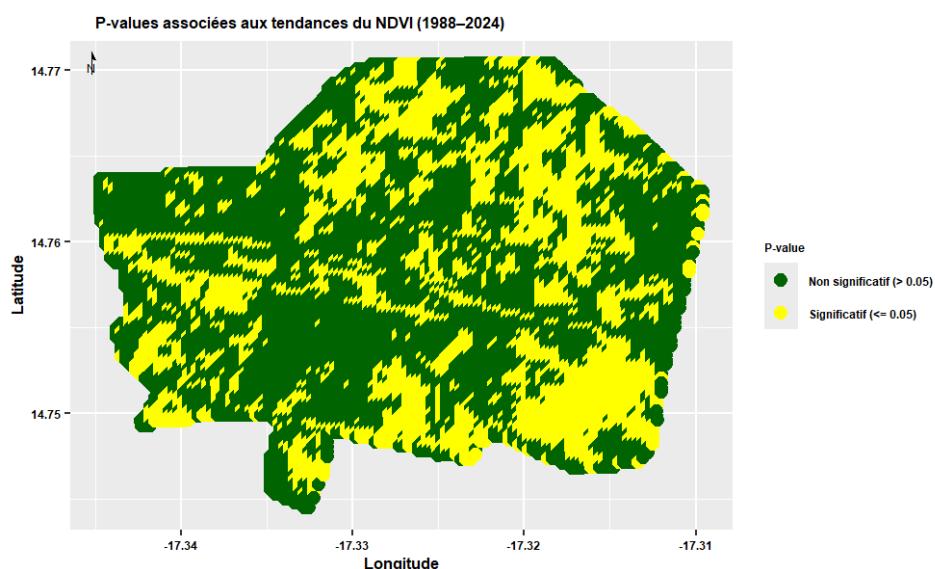


Figure 14b : P-values du Test de Mann-Kendall

4.2.4- Corrélation entre le NDVI et les cumuls pluviométriques mensuels

Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,37$) issu de la régression linéaire entre le NDVI et les cumuls pluviométriques mensuels des mois précédents et en cours indique que 37% de la variation du NDVI est expliquée par les précipitations sur la période étudiée.

Bien que cette variation soit modeste, le coefficient de pente positif ($1,9 \times 10^{-4}$) traduit une tendance à l'augmentation du NDVI avec la hausse des précipitations ([figure 15](#)). En fin, la relation est statistiquement significative ($p\text{-value} = 0,002$) entre les deux variables sur la période étudiée. Cela suggère que la dynamique de la végétation dans la FCM est influencée à hauteur de 37% par la pluviométrie.

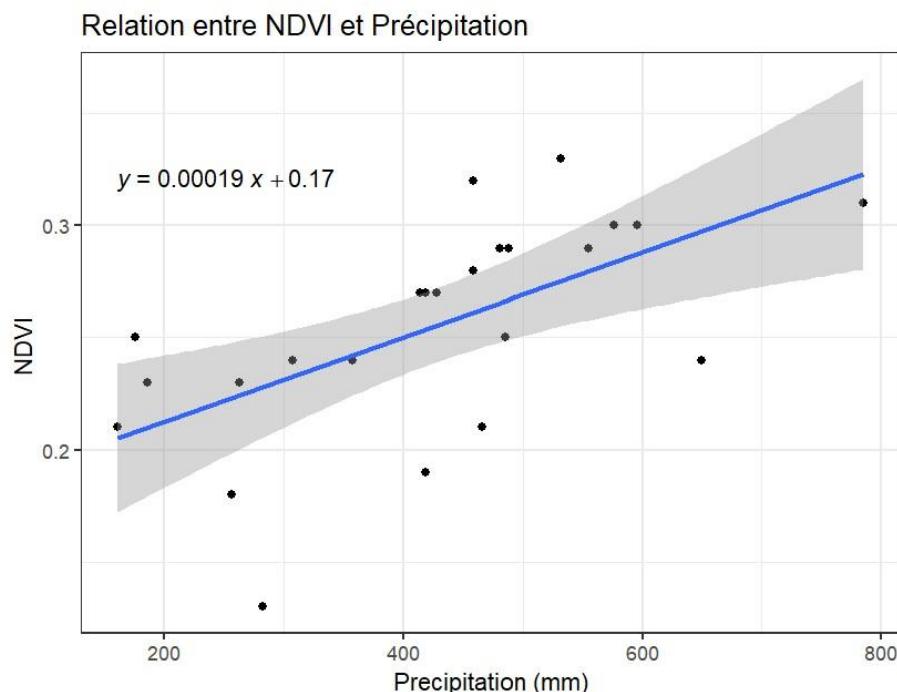


Figure 15 : Corrélation entre le NDVI et les cumuls pluviométriques mensuels

4.2.5- Perception des conséquences du changement de la pluviométrie sur la FCM

La majorité des enquêtés (93,65%) estime que les perturbations de la pluviométrie ont des conséquences sur la FCM ([Figure 16](#)). Parmi ces conséquences, ils citent principalement le stress hydrique (87,29%), le dépérissement ou la mort d'individus (77,12%), la perte de la biodiversité (63,56%), la modification de la croissance des arbres (54,24%), la sécheresse des sols (51,69%), l'altération des habitats (49,15%) et l'augmentation de risques d'incendies (44,92%).

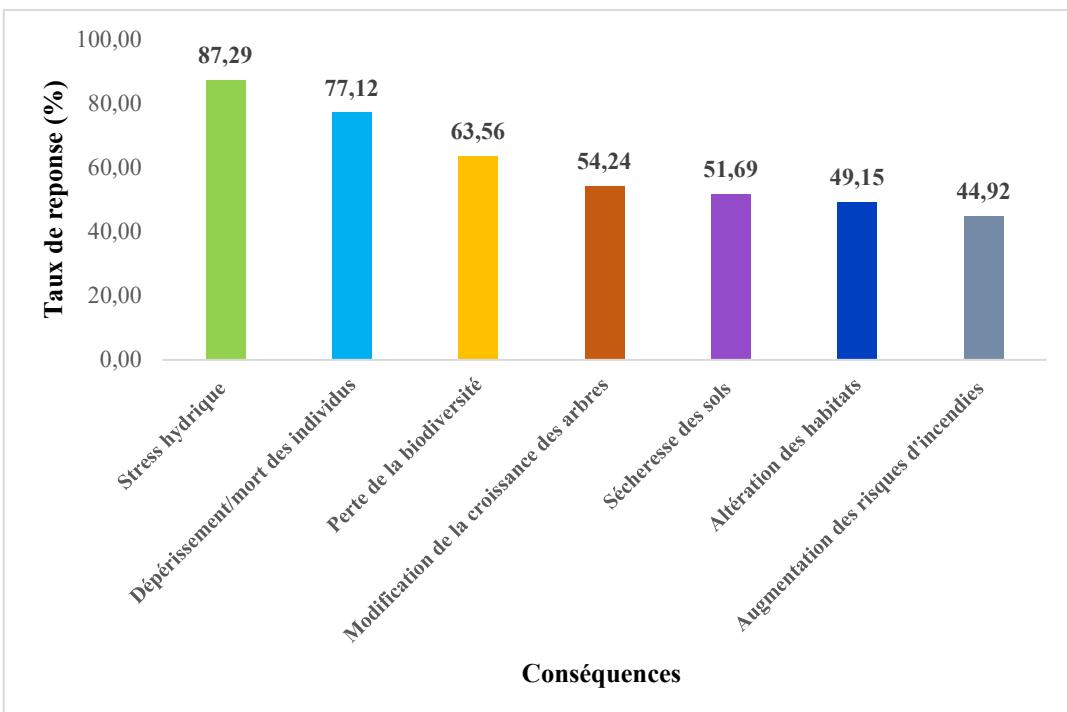


Figure 16 : Conséquences de la modification du régime pluviométriques identifiées par les enquêtés

4.2.6- Perception de l'impact des activités humaines

L'enquête a permis de mettre en évidence de nombreuses actions anthropiques perçues comme ayant un impact sur la dynamique de la FCM (figure 17). La majorité des enquêtés (91,4%) ont indiqué au moins une action anthropique, avec en moyenne 5,46 actions anthropiques rapportées par chaque enquêté.

L'occupation anarchique arrive en tête (67,74%), suivie de la pression foncière (60,48%), de l'exploitation agricole (54,03), du prélèvement d'organes pour la pharmacopée (53,23%), de la coupe abusive de bois et du pacage d'animaux (50,81%). Le degré de consensus de ces perceptions, respectivement de 0,35, 0,21, 0,08, 0,06, 0,05 et 0,02 traduisent une convergence d'opinion modéré à faible entre les enquêtés.

Les faibles degrés de consensus indiquent que les actions identifiées comme pressions anthropiques majeures sur la FCM semblent faire l'objet de points de vue nuancés.

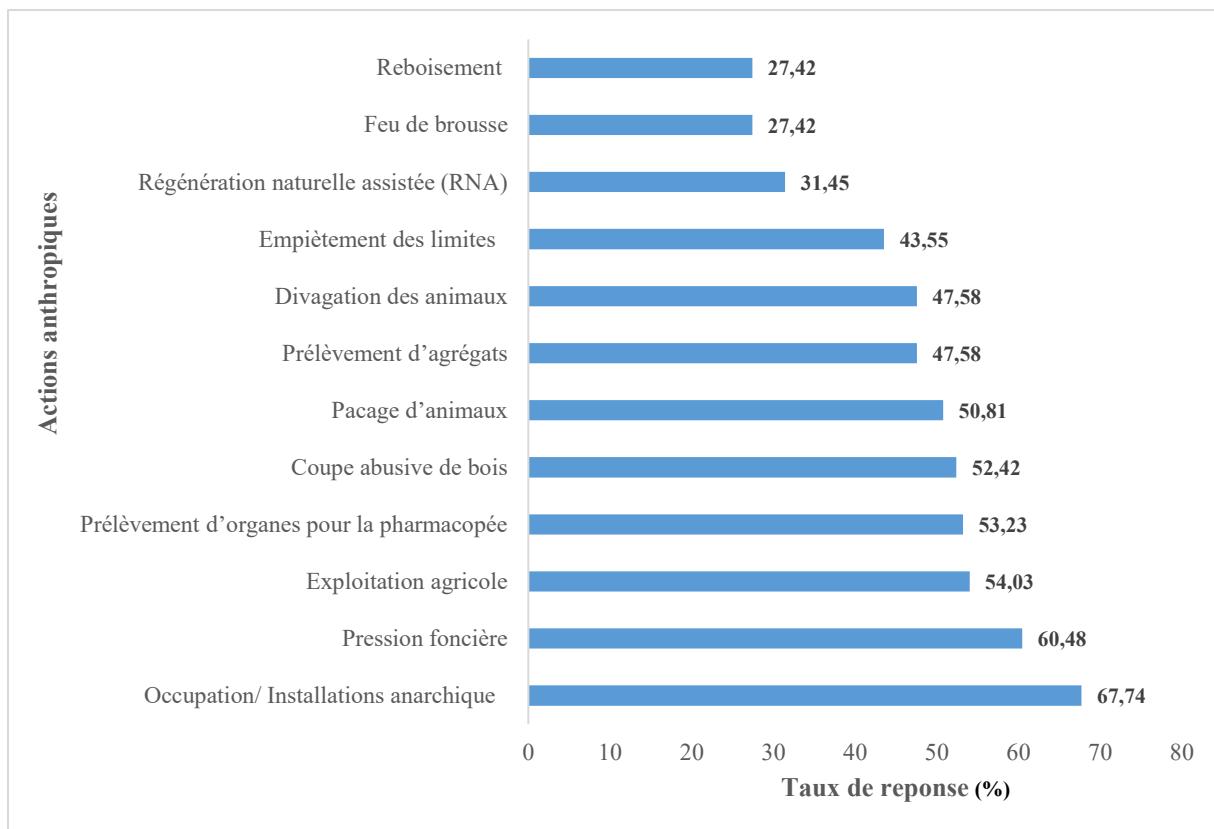


Figure 17 : Actions anthropiques identifiées comme ayant un impact sur la FCM

4.3- Stratégie de gestion actuelle de la FCM

4.3.1- Perception sur le mode de gestion actuel

La majorité de enquêtées (66,41%) indique que la forêt est sous une gestion étatique. Par ailleurs, 33,59 % estiment qu'elle est gérée de manière participative, en collaboration avec le comité fédéral de surveillance installé dans le cadre de la mise en œuvre du PA. Ils déclarent que les populations sont principalement impliquées dans les activités de protection (69,41%), de reboisement et de restauration (34,12%) de la forêt. Elles participent également aux instances de décision (22,35%) par le biais de représentants statutaires, et bénéficient d'autorisations d'exploitation des ressources forestières (54,12%).

Selon la majorité (96,06%), la population accède aux ressources de la forêt. Ils indiquent que l'accès se fait principalement de manière légale que ce soit à titres individuel (53,72%) ou à travers des groupements ou en associations (53,72%). Toutefois, ils signalent des cas d'exploitation illégale ou clandestine (75,21%), en violation des règles établies.

4.3.2- Perception du mode de gestion le plus efficace pour garantir une gestion durable

La majorité de personnes interrogées (76,56%) estiment que la gestion participative serait le mode le plus efficace pour assurer une gestion durable de la FCM. En revanche, 15,63% considèrent que la gestion actuelle, de type étatique pourrait également garantir une gestion efficace de cette forêt ([voir figure 18](#)).

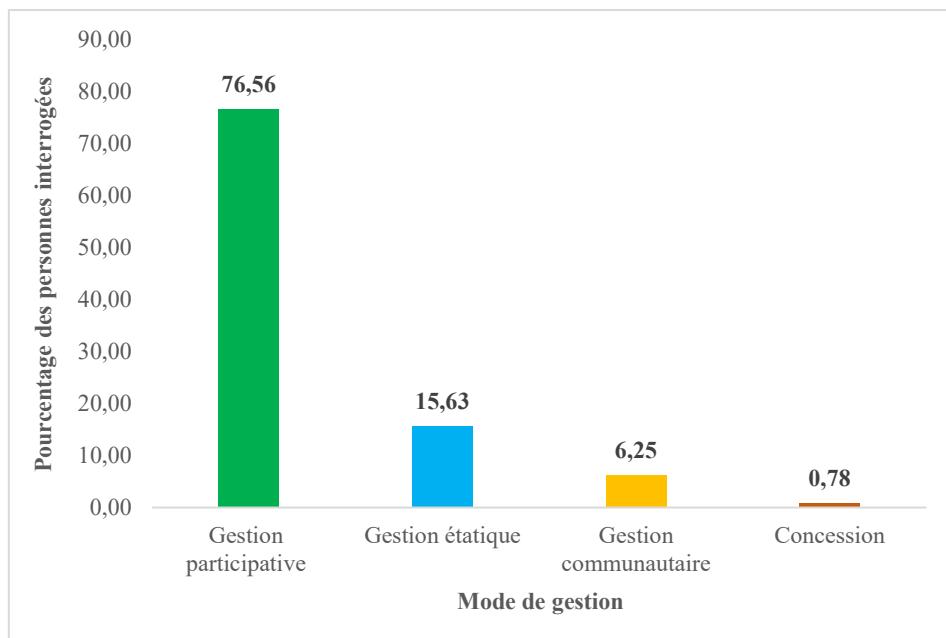


Figure 18 : Perception du mode de gestion le plus adapté pour garantir une gestion durable de la FCM

4.3.3- Perception des rôles écosystémique et socio-économique

Selon les enquêtés, la FCM joue d'importants rôles écosystémiques, notamment l'amélioration du cadre de vie des populations (92,13%), l'atténuation des nuisances sonores (55,12%), la prévention des inondations (51,97%) et l'éducation environnementale (41,73%).

En outre, elle joue également un rôle socio-économique majeur. En effet, elle est perçue comme une source d'activité génératrice de revenu (89,84%) à travers la pratique du maraîchage et de l'apiculture, de cueillette de produit forestier non ligneux (85,16%), de prélèvement de produits pour la pharmacopée (60,16%), de fauche de fourrage et de pâturage (57,03%), de ramassage de bois de feu (52,34%) et de pêche dans les retenues d'eau (27,34%).

4.3.4- Mise en œuvre du plan d'aménagement

Les entretiens réalisés auprès des acteurs impliqués dans la gestion révèlent que la FCM dispose d'un plan d'aménagement (PA) élaboré en 2008 pour une durée de 12 ans. Il vise la protection et la valorisation du massif forestier. L'objectif qui lui est assignée consiste à contribuer au développement de la foresterie urbaine et péri-urbaine, par la fourniture durable de produits et services devant couvrir les besoins et attentes des populations et des autorités en matière de bien-être social, économique et environnemental ([DEFCCS, 2014](#)). Pour atteindre cet objectif, un plan d'action a été élaboré et mis en œuvre par les parties prenantes. Ce plan répond à quatre objectifs spécifiques :

- ⊕ conserver les fonctions écologiques et la diversité biologique de la FCM comme modèle ;
- ⊕ contribuer à l'approvisionnement durable des riverains de la FCM en produits agro-sylvopastoraux ;
- ⊕ contribuer à l'éducation, la récréation, au développement sportif et culturel du public ;
- ⊕ assurer la protection et la conservation des ressources naturelles autour des sites névralgiques tels que le cours d'eau et les mares et les diverses installations.

L'analyse du taux de réalisation des activités a permis d'évaluer le niveau d'atteinte des objectifs et, de manière globale, l'exécution du plan d'action du PA de la forêt. Il ressort que les objectifs 1, 2 et 4 ont respectivement un niveau d'atteinte de 92,85%, 100% et 62,5%, traduisant des taux de réalisation satisfaisant à très satisfaisant. En revanche, l'objectif 3, qui ne comporte qu'une seule activité, n'a pas été mis en œuvre.

En définitif, le plan d'action du PA de la FCM présente un niveau d'exécution globalement satisfaisant ($TRm= 63,83\%$), traduisant une mise en œuvre relativement efficace du plan d'aménagement.

4.3.5- Difficultés liées à la gestion

Pour la majorité des acteurs interrogés (55,56%), la mise en œuvre du PA rencontre des difficultés, contre 11% qui affirment le contraire. Celles évoquées sont :

- ⊕ **l'insuffisance de ressources financières et matériels** : les répondants indiquent que l'unité de gestion ne dispose pas de budget dédié à la mise en œuvre du PA. Cela a entraîné la non réalisation de plusieurs actions prévues dans le PA, telles que la cavalerie montante, le parcours sportif, le parc animalier ou encore l'aménagement du marigot de Mbao ;
- ⊕ **le non-respect des engagements financiers** : bien que le PA prévoie une contribution des communes riveraines et des entreprises implantées dans la forêt au fond d'aménagement, ces acteurs ne participent pas effectivement à son alimentation ;
- ⊕ **l'ingérence politique** : certaines décisions sont selon les personnes interrogées, prises par des acteurs politiques sans concertation avec les organes de gestion ;
- ⊕ **le non-respect du code de conduite consensuel** : ce code, censé régir les règles de gestion et d'exploitation des ressources forestière de la FCM, n'est pas toujours respecté par la population.

5- Discussion

L'analyse des résultats de la dynamique d'occupation du sol à partir de la classification supervisée des images Landsat met en évidence une transformation du paysage de la FCM entre 1988 et 2024. La précision globale de la classification, ainsi que les coefficients de Kappa supérieures à 75% démontrent la fiabilité des résultats. Ils sont donc jugés d'excellente qualité et peuvent être exploiter de manière pertinente ([Gansaonré et al., 2020](#); [Rakotomala et al., 2015](#); [Sorokoby et al., 2021](#))

En 1988, la FCM était dominée par une végétation dense qui occupait 469,8 ha, soit 63 % de sa superficie totale. Cette situation semble traduire un bon état de la physionomie du paysage forestier. En 2006, elle présente un changement profond de sa végétation. Ce changement se traduit par une forte régression de la végétation dense au profit de la végétation clairsemée qui devient dominante à 72 %, marquant ainsi le début d'un processus de dégradation de la couverture végétale. Le processus continue progressivement avec l'augmentation de la superficie des sols nus, qui atteignent 224,37 ha en 2024, soit 30% de la superficie totale de la forêt, au détriment de la végétation clairsemée. Cette augmentation des sols nus au détriment de la végétation clairsemée s'explique par la densification des parcelles maraîchères et par la pratique d'activités sportives sur les portions contiguës aux habitations.

Le taux de changement très prononcé des infrastructures et des bâtis (+219,10 % entre 2006 et 2024), ainsi que l'apparition de la nouvelle classe d'occupation des sols, les plans d'eau, témoignent de l'intensification des activités humaines dans la forêt, entraînant donc une fragmentation de l'entité. Cette situation s'explique d'une part, par la réalisation d'infrastructures routières, telles que l'autoroute à péage et le chemin de fer pour le transport express régional (TER), destinées à relier les banlieues dakaroises au centre urbain, et d'autre part, par l'implantation d'entreprises à l'intérieur de la forêt. Par ailleurs, l'apparition des plans d'eau résulte du drainage et du stockage des eaux pluviales dans des bassins de rétention construits à l'intérieur de la forêt, afin de réduire les risques d'inondations récurrentes dans les quartiers périphériques. Globalement, la dynamique d'occupation des sols de la FCM traduit la transformation d'un écosystème forestier probablement moins perturbée vers un écosystème fortement anthropisé et dégradé. Cette dégradation, suivie de la fragmentation du couvert végétal, est attribuable à la forte croissance urbaine et à la densification de la population autour de la Forêt. Les résultats confirment les perceptions des enquêtés qui indiquent que l'état de la forêt s'est progressivement dégradé au cours de ces 30 dernières années. Selon eux, la forêt est passée d'un état relativement bon à un état marqué par une dégradation, une anthropisation et une fragmentation de son paysage. Les principales actions identifiées sont l'occupation anarchique, la pression foncière, l'exploitation agricole, notamment le maraîchage, le prélèvement d'organes pour la pharmacopée et la coupe abusive de bois.

La plupart des études sur la dynamique de la végétation dans les formations classées ouest africaines ([Belem et al., 2018](#); [Gnahore et al., 2021](#); [Silue et al., 2021](#); [Soumah et al., 2021](#)) indiquent des cas similaires. [Gansaonré et al. \(2020\)](#) mentionnaient par ailleurs que la dégradation du couvert végétal touche de manière commune tous les pays de l'Afrique subsaharienne. [Belem et al. \(2018\)](#) montraient dans leur étude au Burkina Faso, une forte régression du paysage de la forêt classée de Toéssin en seulement 14 ans. En effet, la végétation dense aurait connu une diminution de 65,71% de sa superficie initiale, au profit de la végétation claire et des sols nus. Les auteurs attribuaient cette dégradation aux activités humaines, en

particulier l'agriculture, l'élevage et la coupe illégale du bois vert, identifiés comme les principaux facteurs menaçants. Dans le même registre, [Soumah et al. \(2021\)](#) indiquaient dans leur étude sur les forêts sacrées en République de Guinée, une régression de la superficie des forêts de 57,5 % en moyenne en trois décennies. En plus de l'agriculture qu'ils citent comme principale source, ils considèrent également la proximité des localités et l'affaiblissement des systèmes traditionnels de gestion sous l'influence de l'islam comme étant à l'origine de la déforestation. Le constat est similaire dans la forêt péri-urbaine de l'Anguedebou. En effet, cette forêt considérée comme l'une des reliques forestières de la ville d'Abidjan fait face à de nombreuses pressions anthropiques dues principalement aux activités d'occupation et d'exploitation qui se caractérisent par des activités agricoles, qui occupent près de 61% de la surface forestière et les empiètements urbains matérialisés par les habitations, les infrastructures routières et industrielles ([Yeo et Amani, 2016](#)). Selon [Yeo et Amani \(2016\)](#), cette forte emprise humaine a entraîné une perte de superficies de la forêt et une dégradation de son couvert végétal, la rendant plus vulnérable du fait de l'absence d'une véritable stratégie de gestion durable de la forêt.

L'analyse de la série chronologique des précipitations indique une forte variabilité interannuelle de la pluviométrie, marquée par une alternance d'année sèche et humide. Elle concorde avec les perceptions des enquêtés qui indiquent le caractère irrégulier et imprévisible des précipitations au cours de ces trois dernières décennies. Elles révèlent un début tardif et une fin précoce de la saison des pluies, comme le souligne une sexagénaire lors de l'entretien « *les pluies ne sont pas abondantes plus qu'auparavant ; l'année passée il n'y a pas eu beaucoup de pluie. Moi quand je partais à l'école, ah, c'était des pluies abondantes : de juin, même début mai, jusqu'à octobre-novembre. Mais maintenant, nous avons de petites pluies en septembre. On a des pluies de deux mois* ». Ceci concorde avec les travaux de [Mballo \(2025\)](#) au nord du Sénégal qui indiquent une installation tardive de la saison des pluies dans sa zone d'étude. Toutefois, l'auteur indique une fin normale de la saison avec une durée moyenne d'environ trois mois dans sa série chronologique.

Le SPI met en évidence deux régimes distincts, une période déficitaire (moins pluvieuse) entre 1988 et 2004 suivie d'une période humide à partir de 2005. Cette situation témoigne d'une reprise des pluies à partir de 2005 telle qu'observée par les travaux de [Mendy, \(2023\)](#) qui caractérisent ce retour par une forte irrégularité interannuelle des précipitations ainsi que par une augmentation des épisodes de pluies intenses.

Les perceptions indiquent une tendance baissière des pluviométries sur la période d'étude, pourtant, les analyses de la série chronologique montrent le contraire. Le test de corrélation sur le rang de Mann-Kendall révèle une tendance positive des précipitations ($S = 125$). Toutefois, cette tendance reste modérée ($\tau = 0,188$), et n'est pas statistiquement significative ($p\text{-value} = 0,1$). Il indiquerait une rupture probable en 2004, bien que l'écart pluviométrique entre les périodes avant et après cette date soit important. En outre, le test de Buishand U n'identifie pas de rupture significative dans la série chronologique. [Ozer et al. \(2010\)](#) constataient la même situation au Niger qu'ils qualifiaient « *d'ébauche de rupture* ». Ces résultats sont corroborés par les travaux de [Toure et al. \(2022\)](#) qui indiquaient également une absence de tendance significative dans presque toutes les stations pluviométriques du Sénégal entre 1960 et 2020. Cependant, il confirme un regain des précipitations entre 2000 et 2017 traduisant un rétablissement des conditions pluviométriques. Cette tendance au retour de la pluviométrie aux

conditions antérieures aux années 1970 avait été évoquée par [Ozer et al. \(2010\)](#) dans certaines zones sahéliennes, notamment au Niger, suite à une « *augmentation des évènements pluvieux quotidiens de forte intensité* ».

Quant à l'état de la végétation, l'année 1988 affiche des valeurs de NDVI modérément élevées, supérieure ou égale à 0,3 sur l'ensemble de la zone d'étude. Certaines zones du centre-sud et du nord-ouest se distinguent par des valeurs plus élevées, atteignant 0,5, ce qui témoigne que ces endroits présentent une végétation plus dense. Cependant, entre 1989 et 2007, le NDVI moyen connaît une légèrement baisse par rapport à 1988, avec des valeurs inférieures à 0,4 dans les zones qui affichaient les niveaux plus élevés, signalant probablement une baisse de densité de la végétation. De même, la pluviométrie moyenne annuelle de la période 1989 à 2007 (368,6 mm) est légèrement inférieure à celle de 1988 qui étaient de l'ordre de 458,5 mm. En revanche, la période de 2009 à 2023 est marquée par une légère reprise du NDVI, notamment au centre et au nord, avec des valeurs de NDVI avoisinant 0,4. Cette légère reprise du NDVI semble coïncider avec la période humide de la série chronologique des précipitations et la mise en œuvre du PA.

L'analyse de la tendance du NDVI moyen de la FCM indique une légère augmentation du NDVI sur la période d'étude, mais elle est non significative. La pente de Sen suggère par ailleurs une augmentation annuelle du NDVI de 0,003 sur la période d'étude. Le coefficient de pente positif de la régression linéaire entre le NDVI et les cumuls pluviométriques mensuels des mois précédents et en cours indique une tendance à l'augmentation du NDVI avec la hausse des précipitations, bien qu'il soit modeste ($1,9 \times 10^{-4}$). Par ailleurs, le coefficient de détermination du test ($R^2=0,37$) montre que seulement 37% de la variation du NDVI est expliquée par les précipitations. Cette corrélation suggère qu'au cours de la période d'étude, la variation du NDVI de la FCM est partiellement influencée par la variabilité pluviométrique, ce qui pourrait expliquer la légère reprise de la végétation dans certains endroits simultanément avec la reprise des précipitations. La part non attribuable aux précipitations pourrait être liée aux facteurs anthropiques. Ces résultats corroborent les travaux de certains auteurs. Dans leur étude mettant en évidence la relation entre la végétation et la pluviométrie, [Hien \(2022\)](#) ; [Rasmussen et al., \(2014\)](#) ont démontré une corrélation positive entre le NDVI et les précipitations annuelles dans certaines zones du Burkina Faso. En effet, [Rasmussen et al. \(2014\)](#) indiquaient que la variation de la pluviométrie n'expliquait que moins de 30% de la variation du NDVI dans le sahel Burkinabè. Les auteurs attribuaient la grande partie de la variation du NDVI à d'autres facteurs tels que anthropiques, qui joueraient un rôle déterminant dans la dynamique de la végétation. En plus de la pluviométrie, il convient de considérer que les efforts de conservation ([photo 1](#)) liés à la mise en œuvre du PA de la FCM auraient contribués à la régénération de la végétation et à la restauration de certaines zones dégradées ([photo 2](#)) même si ses actions ne s'étendent pas sur toute la superficie de la forêt. Ces actions ponctuelles et ciblées pourraient expliquer en partie la reprise de la végétation dans les endroits qui affichent les valeurs de NDVI les plus élevées, comme le soulignait un acteur lors de nos entretiens à Mbao, le 15 avril 2025 « *15 ans en arrière, eh bien, moi je dirais que la forêt était encore beaucoup plus dégradée. C'est parce qu'il y a eu des actions qu'actuellement la forêt commence à redorer un peu son blason* ».



Photo 1 : Zone de conservation dans la FCM



Photo 2 : Restauration des terres dégradées dans la FCM

Le FCM contribue au bien-être de la population riveraine à travers ces services écosystémiques. La mise en œuvre du PAFCM contribue énormément à l'amélioration des revenues et à la sécurité alimentaire des populations à travers la cueillette des produits forestiers non ligneux (PFNL), la pratique du maraîchage et l'apiculture. Bien que le plan d'action présente un niveau d'exécution globalement satisfaisant ($TRm= 63,83\%$), traduisant une mise en œuvre relativement efficace du PA, il semble favoriser la dégradation du couvert végétal même si des tentatives de reprise localisée de la végétation ont été observées, traduisant les efforts de conservation de la ressource dans ces zones. En effet, la couverture forestière a fortement diminué au profit des sols nus. Entre 2006 et 2024, la végétation clairsemée est passée de 72% à 42% soit une perte de 30% de la couverture végétale au profit des sols nus. Ce phénomène serait dû à l'élargissement des parcelles maraîchères et à l'intensification du maraîchage à l'intérieur de la forêt, favorisés par la mise en œuvre du PA. Même si le niveau de consensus reste faible (0,08), la pratique de l'agriculture, notamment le maraîchage est perçu par les enquêtés comme ayant un impact significatif sur la dynamique de la couverture végétale de la FCM, avec 54,03% de taux de citation.

Il convient de noter, d'une part, que la pratique du maraîchage ne favorise pas la régénération naturelle de la végétation spontanée sur les parcelles culturales puisqu'elles sont considérées comme mauvaises herbes et arracher pour éviter la compétition avec les cultures. D'autre part, certains arbres se trouvant sur les parcelles sont élagués pour faire la lumière aux cultures. Ces agressions répétitives entraînent la mort des arbres sur les parcelles pour enfin faire place aux sol nus, favorables aux cultures (photo 3). En outre, certaines pratiques traditionnelles, notamment le prélèvement des organes pour la pharmacopée constituaient également une menace pour les espèces à vertu médicinale (photo 4). Il avait été cité en deuxième position après l'agriculture (53,23%), comme une action anthropique ayant un impact sur la dynamique de la FCM. Pourtant, le code de conduite consensuel (CCS) pour la gestion durable de la forêt, élaboré de manière participative avec les acteurs qui ont une activité régénératrice de revenu dans la forêt fixe les règles d'exploitation de la ressource afin de réduire les risques de dégradation de la forêt (DEFCCS,2014).



Photo 3 : Morts d'arbres dans une parcelle maraîchère de la FCM



Photo 4 : Ecorçage d'une plante pour la pharmacopée

De nos jours, la FCM subit fortement les conséquences de l'urbanisation galopante. En effet, d'autres phénomènes dommageables, notamment les inondations et la pollution, y sont observés. La FCM constitue un exutoire des eaux pluviales des communes riveraines. Par ailleurs, avec l'imperméabilisation des sols, due à la forte urbanisation, la forêt constitue la principale zone d'absorption des eaux de ruissellement. Considérée comme réceptacle des eaux usées et des eaux de pluie ([Programme des Nations Unies pour le développement \[PNUD\], 2022](#)), elle joue un rôle déterminant dans la stratégie de gestion des inondations des communes riveraines. Pendant la saison des pluies, les eaux issues des quartiers des communes de Keur Massar sont drainées et stockées dans des bassins aménagés à l'intérieur de la forêt. Aussi, certaines dépressions se retrouvent inondées sur de longue période par les eaux de ruissellement entraîneraient la mort des arbres par asphyxie de leur système racinaire. De même, en dépit de l'interdiction du CCS, les déchets solides et liquides de toutes natures provenant des ménages immédiatement riverains, ainsi que les gravats issus des chantiers de construction sont déversés en partie dans la forêt ([photo 5 et 6](#)). Ces phénomènes avaient été observés par [Sako et al. \(2013\)](#), qui mentionnaient les conséquences similaires de l'urbanisation galopante sur le Parc national du Banco à Abidjan.



Photo 6 : Dépôt de déchets ménagers dans la FCM



Photo 5 : Dépôt de gravats dans la FCM

La mise en œuvre du PA rencontre des difficultés d'ordre financier, matériel, organisationnelle et institutionnelle. En effet, l'unité de gestion ne disposera ni de budget ni de moyens humains et matériels lui conférant une autonomie de gestion, ce qui limite ses capacités d'intervention en matière de surveillance, de préservation et de restauration de la FCM. Cette situation soulève des interrogations sur l'avenir de la forêt, dans un contexte où les autorités politiques manquent de ressource, de moyens techniques et humains pour mettre en œuvre d'une stratégie de conservation durable de cet écosystème, au bénéfice de la population Dakaroise. [Yeo et Amani \(2016\)](#) ont soulevé des contraintes similaires concernant la gestion durable de la forêt périurbaine de l'Anguédébou. Selon eux, cette situation s'expliquerait par la faible priorisation des enjeux environnementaux dans les politiques publiques. Elle est comparable à la gestion des forêts urbaines et périurbaines au Burkina Faso. [Dakissaga \(2006\); Deronzier \(2017\); Soma \(2022\)](#) mettent en évidence dans leurs études le peu d'importance accordée à ces enjeux par les autorités politiques, entraînant par ailleurs une absence de valorisation et de protection de ces espaces, qui sont souvent exposés à une exploitation abusive.

❖ *Limites*

L'absence d'images Landsat couvrant l'ensemble de la saison de croissance de la végétation, ainsi que le manque de données pour certaines années, constitue une limite de l'analyse des tendances dans la série chronologique du NDVI. En effet, la taille réduite du jeu de données et l'irrégularité temporelle des images peuvent introduire un biais dans les résultats. Par ailleurs, l'hétérogénéité des capteurs peut affecter la comparabilité des images et compromettre la continuité et la cohérence des valeurs du NDVI.

Concernant la classification superviser, bien que les images Landsat offrent une haute résolution spatiale, elles restent insuffisantes pour détecter des changements fins ou localisés. Cela peut entraîner des erreurs de classification pour certaines classes d'occupation du sol.

Pour l'échantillonnage, la marge d'erreur est supérieure à celle couramment utilisé dans les études, ce qui augmente le risque que les résultats ne reflètent pas exactement la perception de l'ensemble de la population cible.

Enfin, l'évaluation de la mise en œuvre du PA repose sur les entretiens menés auprès des responsables du comité fédérale de surveillance, ainsi que sur l'analyse de rapports internes. Cette approche restreint la collecte de données et peut affecter l'objectivité des résultats.

Conclusion

La forêt classée de Mbao a connu un fort recul de son potentiel au cours des 30 dernières années, la rendant de plus en plus vulnérable aux effets du changement climatique. L'analyse des classes d'occupation du sol révèlent une régression de la végétation dense au profit de la végétation clairsemée et des sols nus. Les résultats confirment l'hypothèse 1, à savoir que la FCM connaît une tendance régressive de sa couverture végétale au cours de ces trois dernières décennies. Cette dégradation résulte de la pression humaine sur la ressource, attribuable à la forte croissance urbaine et à la densification de la population autour de la Forêt.

Cette étude, à travers l'analyse du NDVI et de la variation des précipitations a permis de mettre en évidence les facteurs de changement, ainsi que leur niveau d'implication dans la dynamique de la végétation. Il ressort que la variabilité climatique, notamment la pluviométrie ne contribuent qu'à hauteur de 37% à la dynamique de la végétation de la FCM. Ce qui en fait un facteur majeur, mais pas prédominant dans le cadre de cette étude. La part restante serait influencée par d'autres facteurs, notamment les activités humaines qui semblent avoir un impact considérable sur la couverture végétale de la FCM. En somme, cette analyse permet de confirmer partiellement l'hypothèse 2 selon laquelle la variabilité climatique est l'un des facteurs majeurs, voire prédominants dans la dynamique de la FCM.

Bien qu'il affiche une mise en œuvre relativement satisfaisant, le PA rencontrera des difficultés, qui limitent les capacités d'intervention des acteurs en matière de surveillance, de préservation et de restauration de la FCM. De nos jours, la forêt constitue un réceptacle des déchets solides de toutes natures, ainsi que les eaux de ruissellement provenant des communes riveraines, fortement urbanisées et dépourvues d'un véritable plan d'assainissement. Les dépressions se retrouvent inondées sur de longue période pendant la saison des pluies, entraînant la mort des arbres par asphyxie du système racinaire. En plus de ce phénomène, un autre émerge, à savoir la salinisation des sols au sein de la forêt. Elle pourrait également contribuer à la disparition progressive de la végétation, en particulier sur les parcelles maraîchères. Toutefois, la présente étude ne permet pas de vérifier cette hypothèse. Des recherches complémentaires seraient nécessaires pour évaluer l'impact de ce phénomène sur la dégradation de la végétation. Une telle approche pourrait permettre d'avoir une compréhension plus globale des facteurs de dégradation, en vue d'orienter les gestionnaires vers une gestion plus efficace et durable d'autant plus que le plan d'aménagement actuel semble être inadapté, confirmant enfin l'hypothèse 3, à savoir que la stratégie de gestion actuelle de la FCM ne garantit pas une gestion durable de cet espace forestier.

Au terme de cette étude, et au regard des résultats, ainsi que des entretiens menés avec les acteurs impliqués dans la gestion, nous formulons les recommandations suivantes :

A l'attention de l'administration forestière :

- ⊕ évaluer le PA actuel afin d'identifier ses limites et de capitaliser ses acquis ;
- ⊕ réviser le PA afin d'y intégrer les problématiques émergentes telles que les inondations et la salinisation des sols, pour améliorer la résilience de la forêt face aux aléas climatiques ;
- ⊕ réguler les activités de maraîchages et fournir des mécanismes de reconversion des acteurs pour limiter la pression sur les ressources naturelles ;

- renforcer la lutte contre l'occupation anarchique de l'espace forestier et organiser des campagnes annuelles de reboisement, en privilégiant les espèces locales adaptées, pour restaurer les zones dégradées ;
- développer des activités écotouristiques afin de valoriser la forêt tout en générant des ressources supplémentaires pour son aménagement ;

à l'attention de l'Etat sénégalais :

- renforcer les capacités humaines, matérielles et financières de l'unité de gestion pour lui conférer une plus grande autonomie opérationnelle ;
- identifier et mobiliser des mécanismes de financement pérennes, à travers l'appui des partenaires techniques et financiers pour assurer une gestion efficace, continue et durable de la FCM.

à l'attention des Collectivité territoriale :

- renforcer l'implication des Collectivités locales dans la gestion en tant qu'acteur clés de la préservation des ressources naturelles et du bien-être des communautés ;
- respecter les engagements financiers prévus afin de contribuer efficacement à la gestion durable de la forêt.

Ces recommandations visent à renforcer la gestion participative, durable et intégrée de la FCM, en impliquant les acteurs institutionnels, techniques et communautaires à tous les niveaux de gouvernance. Au-delà de ce cas spécifique, elles pourraient servir de stratégie pour la gestion des forêts urbaine et périurbaine de l'Afrique de l'ouest, particulièrement menacées par l'urbanisation et les pressions humaines sur les ressources forestières.

Bibliographie

- Agboola, O., & Joseph, I. M. (2014). Impact of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray on the soil, species diversity and composition of vegetation in Ile-Ife (Southwestern Nigeria), Nigeria. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 6(7), 555-562. <https://doi.org/10.5897/ijbc2013.0634>
- Ahimin, A. O., Mikissa, J. B., & Johnson, S. (2015). *Les PCI OAB / OIBT comme outil d 'évaluation de la mise en œuvre de la gestion durable des forêts au Gabon*. 7-11.
- ANSD/SRSD. (2018). *Situation Economique et Sociale Regionale 2015*.
- ANSD. (2023). *Situataion économique et sociale de la region de Dakar 2020-2021*.
- ANSD. (2024). *Recensement General de la Population et de l'Habitat (RGPH-5, 2023) : Projections Demographiques 2023-2073*.
- Ayena, A. A., Totin, H. S. V, Amoussou, E., & Vissin, E. W. (2017). Impact De La Dynamique De L'Occupation Du Sol Sur Les Berges Dans La Vallée Du Fleuve Niger Au Bénin. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 29, 119-135. <http://www.revist.ci>
- Bamba, I. (2010). Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République démocratique du Congo. *Universite Libre de Bruxelles Faculte des Sciences Ecole Interfacultaire de BioIngénieurs*, 205.
- Belem, M., Zoungrana, M., & Nabaloum, M. (2018). Les effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la forêt classée de Toéssin , Burkina Faso The combined effects of climate and anthropogenic pressures on the classified forest of Toéssin , Province of Passoré , Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(5), 2186-2201.
- Bogaert, J., & Mahamane, A. (2009). Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques*, 7(1). <https://doi.org/10.4314/asab.v7i1.43277>
- Bolakonga, I., & Ozer, P. (2007). *Analyse de la variabilité des précipitations sahéliennes et évaluation des impacts sur l'environnement de quelques localités nigériennes et maliennes*. 1, 48-61.
- Cissé, S. (2016). *Etude de la variabilité intra saisonnière des précipitations au Sahel : impacts sur la végétation (cas du Ferlo au Sénégal)*. Climatologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI; Université Cheikh Anta Diop (Dakar, Sénégal ; 1957-..).
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6, (64), 3172,. <https://doi.org/https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Dakissaga, W. (2006). *Requalification des espaces verts en espaces qualificatifs de loisir: un pôle ludique sur les berges des lacs de Ouagadougou*. Mémoire de fin d'étude. EAMAU, Lomé.
- Denis, A. (2021). Travaux Pratiques de Télédétection Spatiale II Avec données et logiciels libres. In *Université de Liège*.
- Deronzier, M. (2017). *Articulation ville/nature en Afrique de l'Ouest. Systèmes de gestion et diversité des rapports liés à la biodiversité végétale dans la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)*. Muséum National d'Histoire Naturelle.
- Diallo, M. (2019). *Évaluation à mi-parcours de la mise en œuvre du Plan d'Aménagement de la Forêt classée de Mbao*. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA) de Thiès.
- Dicara, B. (2020). *Suivi par télédétection de la saisonnalité de la végétation et du climat dans la zone de transition forêt-savane en République Centrafricaine*. Université de Liège.
- Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols. (2014). *Code de conduiteconsensuel pour la gestion durable de la forêt classée de Mbao* (1ère édition).
- Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols. (2022). *Diagnostic sommaire du secteur forestier livrable n°3*.
- Do, T., Lallich, S., Lyon, U., & Eric, L. (2009). Un nouvel algorithme de forêts aléatoires d'arbres obliques particulièrement adapté à la classification de données en grandes dimensions Forêts aléatoires d'arbres obliques. *Revue des Nouvelles Technologies de l'information*, 15, 79-90.
- Dossou-Yovo, E. R., Sintondji, L., Savi, M. K., Chabi, A. B. P., Akogou, D., & Agbossou, E. (2017). Perceptions des populations du bassin de l'Okpara à Kaboua des changements climatiques et stratégies d'adaptation. *African Journal of Rural Development*, 2(3), 417-428. <https://afjrd.org/index.php/jos/article/view/107>
- Dossou, M. E., Houessou, G. L., Lougbégnon, O. T., Tenté, a H. B., & Codjia, J. T. C. (2012). Etude

- ethnobotanique des ressources forestières ligneuses de la forêt marécageuse d'Agonvè et terroirs connexes au Bénin. *Tropicultura*, 30(1), 41-48.
- Drouiche, A., Nezzal, F., & Djema, M. (2019). Variabilité interannuelle des précipitations dans la plaine de la Mitidja en Algérie du Nord. *Revue des sciences de l'eau*, 32(2), 165-177. <https://doi.org/10.7202/1065205ar>
- Fall, M., & Ndione, P. D. (2022). *L'implantation d'un arboretum comme outil d'amélioration de la biodiversité forestière de la Forêt classée de Mbao (Sénégal)*.
- FAO. (2010). *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 rapport national*.
- FAO. (2018). La situation des forêts du monde. Les forêts au service du développement durable. In *Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO*.
- FAO. (2020a). *Evaluation des ressources forestières mondiales 2020, Rapport Sénégal, Rome, 2020*.
- FAO. (2020b). Evaluation des ressources forestières mondiales 2020 Termes et Définitions. In *Documents de travail FRA*.
- Faye, C. (2019). Changement climatiques observés sur le littoral sénégalais (Région de Dakar) depuis 1960 : Etude de la variabilité des tendances sur les températures et la pluviométrie. *Nature et Technologie*, C, 65-78. <http://www.afriquescience.net>
- Faye, C., Daouda Ba, D., & Diagne, A. (2019). Changement climatique observé sur le littoral sénégalais, Région de Dakar, depuis 1960 : tendances et perception des populations de Dakar. *Afrique SCIENCE*, 15(4), 203-214. <http://www.afriquescience.net>
- Faye, M. M. (2011). *Etude d'Impact Environnemental et Sociale(EIES)*.
- Forum Forestier Africain. (2022). *Les Forêts et l'Atténuation du Changement Climatique*.
- Gansaonré, R. N., Zoungrana, B. J.-B., & Yanogo, P. I. (2020). Dynamique du couvert végétal à la périphérie du Parc W du Burkina Faso. *Belgeo*, 1, 0-23. <https://doi.org/10.4000/belgeo.40786>
- Gnahore, Eric, Kouadio, K. R., Amba, achiedo jean grevin, Kone, M., & Bakayoko, A. (2021). *Institut Botanique Aké-Assi d'Andokoi (IBAAN), Abidjan , Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), Éric GNAHORÉ et al . January*.
- Gueye, S., Fall, M., & Ngom, A. (2008). *plan d'aménagement de la foret classee de mba*.
- Herrero, H. V., Southworth, J., Bunting, E., Kohlhaas, R. R., & Child, B. (2019). Integrating surface-based temperature and vegetation abundance estimates into land cover classifications for conservation efforts in savanna landscapes. *Sensors (Switzerland)*, 19(16). <https://doi.org/10.3390/s19163456>
- Hien, K. (2022). *ULiège - Faculté des Sciences Département des Sciences et Gestion de l'Environnement Master de spécialisation en Gestion des Risques et des Catastrophes Présenté par Koufanou HIEN Promoteur : université de Liège*.
- Hountondji, Y.-C. (2008). *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest: Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal*, Académie Universitaire Wallonie-Europe et Université de Liège, Faculté de Sciences: <https://www.academia.edu/download/51136338/>
- Hountondji, Y.-C., Nicolas, J., Sokpon, N., & Ozer, P. (2005). Mise en évidence de la résilience de la végétation sahélienne par télédétection basse résolution au Niger à la suite d'épisodes de sécheresse. *Belgeo*, 4, 499-516. <https://doi.org/10.4000/belgeo.12245>
- Lemenkova, P. (2024). Vegetation indices calculated using Landsat satellite images and GRASS GIS for environmental mapping of the Cape Town region, South Africa. *Physio-Geo*, 20(May), 113-129. <https://doi.org/10.4000/11pyj>
- Lemenkova, P., & Debeir, O. (2023). Multispectral Satellite Image Analysis for Computing Vegetation Indices by R in the Khartoum Region of Sudan, Northeast Africa. *Journal of Imaging*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/jimaging9050098>
- Loi N°2018-25 portant Code forestier., 28 (2018).
- Lougbegnon, T. O., Nassi, K. M., & Gbesso, G. F. (2015). Ethnobotanique quantitative de l'usage de Chrysophyllum albidum G. Don par les populations locales au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 95(1), 9028. <https://doi.org/10.4314/jab.v95i1.12>
- Manga, M. L. (2019). *Déforestation et conflits fonciers au Sénégal (1960-2012). Rapport, 11p*.
- Mballo, I. (2025). Dynamiques climatiques en milieu sahélien sénégalais: perceptions locales et facteurs socioéconomiques associés dans le nord du Sénégal. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*.

- Mendy, A. (2023). Analyse de la variabilité des pluies à dakar (sénégal). *Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines*, 24.
- Nations Unies. (2017). *Conseil économique et social* (Vol. 01884).
- Nations Unies. (2019). *Comptes Economiques Et Environnementaux De La Foret Au Senegal*.
- Observatoire du Sahara et du Sahel. (2015). *atlas des cartes d'occupation du sol*.
- OMM. (2012). Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. *Temps. climat. Eau*, 1090, 17. <http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO>
- Orou N'Gobi, S. B. M. (2019). *Impacts De La Variabilite Climatique Et Des Pressions Université D' Abomey -Calavi* (Numéro June) [Université d'Abomey-Calavi]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19131.64803>
- Ouedraogo, H., Zoungrana, B. J.-B., Rouamba, J., & Zongo, G. (2024). Influence de la dynamique de l'utilisation des terres sur le fleuve Mouhoun au Burkina Faso. *Revue ...*, 5(2024), 849-867.
- Ozer, P., Hountondji, Y. C., Niang, A. J., Karimoune, S., Laminou Manzo, O., & Salmon, M. (2010). Désertification au Sahel: historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54.
- PNUD. (2022). *Programme des Nations Unies pour le développement Termes de Référence pour le recrutement d'un cabinet pour la cartographie et l'hydrologie de la forêt classée de Mbao*.
- Rakotomala, F. A., Rabenandrasana, J. C., Andriambahiny, J. E., Rajaonson, R., Andriamalala, F., Burren, C., Rakotoarijaona, J. R., Parany, B. L. E., Vaudry, R., Rakotoniaina, S., Ranaivosoa, R., Rahagalala, P., Randrianary, T., & Grinand, C. (2015). Estimation de la deforestation des forets humides a Madagascar utilisant une classification multilate d'images lands at entre 2005, 2010 et 2013. *Revue Francaise de Photogrammetrie et de Teledetection*, 212(211-212), 11-23. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2015.537>
- Rasmussen, K., Fensholt, R., Fog, B., Rasmussen, L., & Yanogo, P. (2014). Explaining NDVI trends in northern Burkina Faso. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 114, 17-24. <https://doi.org/10.1080/00167223.2014.890522>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, September 1972*, 1-137.
- Sako, N., Beltrando, G., Atta, K. L., N'da, H. D., & Brou, T. (2013). Dynamique forestière et pression urbaine dans le Parc national du Banco (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Vertigo*, 13-2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.14127>
- Seck, F. (2023). *Dynamique de la forêt classée de Mbao de 1990 à 2020 dans le contexte de l'urbanisation de la ville de Dakar (Sénégal)* Présenté par : SECK Fallou Décembre 2021. Ecole Régionale post-universitaire d'Aménagement et de Gestion intégrés des Torêts et territoires Tropicaux.
- Servant, M., & Servant-Vildary, S. (1996). Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux. In *Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux* (p. 436).
- Silue, P. A., Soro, D., Kouassi, K. E., & Soro, D. (2021). Dynamique d'occupation du sol et diversité floristique de la Forêt Classée de la Palé (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal ESJ*, 17(43), 1-17. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p1>
- Solly, B., Andrieu, J., Dieye, E. H. B., & Jarju, A. M. (2022). Dynamiques contrastées de reverdissement et dégradation de la couverture végétale au Sénégal révélées par analyse de série temporelle du NDVI MODIS. *Vertigo*, 22-1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.35589>
- Solly, B., Dieye, E. H. B., Mballo, I., Sy, O., Sane, T., & Thior, M. (2020). Dynamique spatio-temporelle des paysages forestiers dans le Sud du Sénégal : cas du département de Vélingara. *Physio-Géo*, 15(Volume 15), 41-67. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10634>
- Solly, B., Dieye, E. H. B., Oumar, S. Y., Jarju, A. M., & Sane, T. (2021). Detection des zones de degradation et de regeneration de la couverture vegetale dans le sud du Senegal a travers l'analyse des tendances de series temporelles modis ndvi et des changements d'occupation des sols a partir d'images landsat. *Revue Francaise de Photogrammetrie et de Teledetection*, 223, 1-15. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2021.580>
- Soma, A. (2022). La forêt classée de Kua ou l'hôpital de référence publique ? Une analyse des dynamiques spatiales dans une campagne péri-urbaine du Burkina Faso. *Cahiers d'Outre-Mer*, LXXV(285), 123-141. <https://doi.org/10.4000/com.13702>

- Sorokoby, V. M., Njeugeut Mbiafeu, A. C., Youan, T. M., Assoma, T. V., Adja, M. G., & Jourda, J. P. (2021). Dynamique d'occupation du sol du bassin versant de la volta, par la méthode de l'arbre de décision, à partir des images multispectrales de la génération Landsat de 1990 à 2020. *Article in International Journal of Engineering Science, May*, 34-45. <https://doi.org/10.35629/6734-1004033445>
- Soumah, F. S., Kokou, K., Diakité, M., Camara, Y., Kourouma, S., & Kourouma, S. (2021). Diachronic Analysis of the Spatial Dynamics of the Sacred Forests of the Upper Niger Basin in the Republic of Guinea. *Revue Francaise de Photogrammetrie et de Teledetection*, 223(année 2021), 250-266. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2021.557>
- Tankoano, B., Sanon, Z., Hien, M., Dibi, N. H., Yameogo, J. T., & Somda, I. (2016). Pression anthropique et dynamique végétale dans la Forêt Classée de Tiogo au Burkina Faso: Apport de la Télédétection. In *Tropicultura* (Vol. 34, Numéro 2, p. 193-207).
- Thioune, S. (2022). *Analyse de la dynamique des forêts classées au Sénégal: cas de la forêt classée de Thiès*. Universite Assane Seck de Ziguinchor.
- Tounkara, I. (2021). *Les externalités de la dynamique des « poumons verts » de la région de Dakar : cas de la grande Niaye de Pikine et de la forêt classée de Mbao*. Université Assane Seck de Ziguinchor
- Toure, I., Maria Ndione, D., Leye, I., Henriette Astou Sambou, M., Landing SANE, M., & Kendall régional, M. (2022). Analyse des tendances dans les séries pluviométriques au Sénégal. *Afrique SCIENCE*, 21(1), 122-135. <http://www.afriquescience.net>
- Triplet, P. (2015). Dictionnaire Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature. *Isbn 978 - 2 9552171, ISBN 978-2 9552171, 721*.
- Triplet, P. (2019). *Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique*.
- Tychon, B., & Denis, A. (2025). *Exemples d'applications de la télédétection à la gestion de l'environnement*.
- USAID. (2008). *Evaluation de La Biodiversité et des Forets Tropicales Au Senegal*. 85.
- Wickham, H., Hester, J., Francois, R., Bryan, J., Bearrows, S., Jylänki, J., & Jørgensen, M. (2024). *Package 'readr'. Read Rectangular Text Data. Available online: https://cran. r-project.org/web/packages/readr/readr*.
- Yeo, A. P., & Amani, C. Y. (2016). Problematique De La Gestion Durable De La Foret Periurbaine de l'Anguededou (Abidjan , Cote D ' Ivoire). *Revue Scientifique du Tchad*, 36, 40-50.
- Zoungrana, B. J. B., Conrad, C., Thiel, M., Amekudzi, L. K., & Da, E. D. (2018). MODIS NDVI trends and fractional land cover change for improved assessments of vegetation degradation in Burkina Faso, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 153(September 2017), 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.01.005>

ANNEXES

Annexe 1 : Entretien auprès la population riveraine de la FCM

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de mon Master de spécialisation en « Gestion des Risques et des Catastrophes à l'ère de l'Anthropocène ». Il vise à analyser la perception des populations locales quant à l'impact du climat et des actions humaines sur la dynamique paysagère de la FCM. Vos réponses seront traitées de manière anonyme. Votre participation est précieuse, et je vous encourage à exprimer librement vos points de vue. Merci infiniment pour votre contribution !

Numéro du questionnaire : Date : / / 2025

Département : Commune :

Localité (Village/Quartier) :

I- Information de l'enquêté(e) :

Profession : ; Sexe : Masculin / _ / Féminin / _ /

Niveau d'étude :

Âge : 40-45 ans / _ / 45-50 ans / _ / 50-55 ans / _ / 55-60 ans / _ / Plus de 60 ans / _ /

Durée de résidence : 30-35 ans / _ / 35-40 ans / _ / 40-45 ans / _ / 45-50 ans / _ / Plus 50 / _ /

II- Perception de la dynamique de la Forêt Classée de Mbao (FCM)

1- Connaissez-vous la Forêt Classée de Mbao ? Oui / _ / Non / _ /

2- Quel est son état actuel selon vous ?

Bon état / _ / Régénération de la végétation / _ / Dégradé / _ / Très dégradé / _ / Fragmenté / _ /

Anthropisé/occupation anarchique / _ / Autres (précisez)

3- Selon vous, quel est son état les 15 dernières années ?

Bon état / _ / Régénération de la végétation / _ / Dégradé / _ / Très dégradé / _ /

Fragmenté / _ / Anthropisé / _ / Autres (précisez)

4- selon vous, quel est son état les 30 dernières années ?

Bon état / _ / Régénération de la végétation / _ / Dégradé / _ / Très dégradé / _ /

Fragmenté / _ / Anthropisé / _ / Autres (précisez)

5- Avez-vous constaté un changement dans la couverture végétale de cette forêt ?

Oui / _ / Non / _ /

6- Si oui, comment se manifeste ce changement selon vous ?

Augmentation de la superficie / _ / Augmentation du couvert végétal / _ / Diminution de la superficie / _ /

Régression du couvert végétal / _ / Disparition d'espèce végétales / _ /

Apparition d'espèces végétales envahissantes / _ / Autres (précisez)

7- Depuis combien de temps ce changement est-il opéré selon vous ?

10 dernières années / _ / 20 dernières années / _ / 30 dernières années / _ / plus / _ /

8- Les actions anthropiques influencent-elles ce changement ? Oui / _ / Non / _ /

9- Si oui, lesquels selon vous ?

Coupe abusive de bois / _ / Prélèvement d'organes pour la pharmacopée / _ / Exploitation agricole / _ / Feu de brousse / _ / Empiètement des limites / _ / Occupation/ Installations anarchique / _ / Pression foncière / _ /

Prélèvement d'agrégats / _ /

Divagation des animaux / _ / Pacage d'animaux / _ / Reboisement / _ / Régénération naturelle assistée (RNA) / _

/ Autres (précisez)

III- Perception de l'évolution des paramètres climatiques

1- Avez-vous remarqué un changement du climat dans votre région ces dernières années ?

Oui / _ / Non / _ /

2- Si oui, ce changement concerne quel paramètre climatique ?

Précipitation / _ / Température / _ / Vent / _ /

3- Pensez-vous que la Forêt Classée de Mbao est plus vulnérable aujourd'hui qu'avant face au changement climatique ?

Oui / _ / Non / _ / Ne sait pas / _ /

4- Si oui, quelles sont les raisons principales de cette vulnérabilité selon vous ?

Urbanisation galopante autour de la forêt / _ / Occupation anarchique à l'intérieur de la forêt / _ / Perte de la biodiversité / _ / Risque d'incendies accrûs en saison sèche / _ / Risque d'inondation accrûs en saison des pluies / _ / Pollution due aux décharges, fumées, eaux usées, etc. / _ / Autres raisons (A précisez)

5- Quelle appréciation faites-vous des précipitations l'année écoulée ?

Insuffisantes / _ / Satisfaisantes / _ / Abondantes / _ / Excessives / _ /

Autres (précisez)

6- **Comment évaluez-vous l'évolution des précipitations au cours des 15 dernières années ?** Hausse / _ /
Baisse / _ / Pas de changement / _ /

7- **Comment évaluez-vous l'évolution des précipitations au cours des 30 dernières années ?** Hausse / _ /
Baisse / _ / Pas de changement / _ /

8- **Avez-vous constaté une modification des précipitations ?** Oui / _ / Non / _ /

9- **Si oui, comment se manifeste cette modification selon vous ?**

Précipitations insuffisantes / _ / Précipitations excessives / _ / Précipitations irrégulières et imprévisibles / _ / Début tardif de la saison des pluies / _ / Fin précoce de la saison des pluies / _ / Autres (précisez) :

10- **Pensez-vous que ces modifications des précipitations ont des conséquences sur la FCM ?** Oui / _ / Non / _ /

11- **Si oui, lesquelles selon vous ?**

Modification de la croissance des arbres / _ / Stress hydrique / _ / Dépérissement ou mort des individus / _ / Altération des habitats / _ / Perte de la biodiversité / _ / Érosion et dégradation des sols / _ / Sécheresse des sols / _ / Augmentation des risques d'incendies de la forêt / _ /

Augmentation des risques d'inondation de la forêt / _ / Autres (précisez) :

IV- Valeur socio- économique de la FCM

1- **Quel rôle joue la FCM ?**

Amélioration du cadre de vie / _ / Amélioration de la qualité de l'air / _ / Atténuation des nuisances sonores / _ / Captage et infiltration des eaux / _ / Prévention des inondations / _ / éducation environnementale / _ / Autres (précisez)

2- **Comment la population utilise-t-elle cette forêt ?**

Patrimoine culturel et spirituel / _ / Ramassage de bois d'énergie ou de feu / _ / Source de fauche de fourrage/ Pâture / _ / Source de prélèvement de produit Médicinal/Pharmacopée / _ / Source de prélèvement de matériaux de construction / _ / Ramassage/cueillette de produit forestier non ligneux / _ / Activité de pêche dans les retenues/plans d'eau / _ /

Activité Génératrice de Revenu (exploitation agricole/maraîchage/ apiculture) / _ /

Autres (précisez)

3- **La population accède-t-elle aux ressources de la FCM ?** Oui / _ / Non / _ /

4- **Si oui, comment elle y accède selon vous ?**

De manière légale en groupement/Association / _ / De manière légale individuellement / _ /

De manière illégale /clandestinement / _ / Autres (précisez)

V- Perception de la gestion de la FCM

1- **La population est-elle impliquée dans la gestion de la forêt ?** Oui / _ / Non / _ /

2- **Si oui, comment est-elle impliquée selon vous ?**

Instances de décision / _ / Activités de reboisement et restauration / _ /Activités de sécurisation et de protection / _ / Exploitation et partage de la ressource / _ /

Autre (préciser) :

3- **Comment la Forêt Classée de Mbao est-elle gérée selon vous ?**

Gestion étatique / _ / Gestion communautaire / _ / Gestion participative / _ / Concession / _ /

Autres (précisez)

4- **Y a-t-il des difficultés liées à ce mode de gestion ?** Oui / _ / Non / _ /

5- **Si oui, lesquelles selon vous ?**

Manque de coordination / _ / Insuffisance de ressource financière / _ / Mauvaise gestion des ressource / _ / Manque de communication / _ / Autres :

6- **Selon vous, quel mode de gestion serait efficace pour la Forêt Classée de Mbao ?**

Gestion étatique / _ / Gestion communautaire / _ / Gestion participative / _ / Concession / _ /

Autres (précisez)

7- **Les organes de gestion sont-ils fonctionnels ?** Oui / _ /Non / _ /

8- **Si non, pourquoi ?**

9- **Que proposez-vous pour le (s) rendre opérationnels ?**

10- **Y a-t-il un point que vous aimeriez compléter ou préciser concernant notre entretien ?**

Nous vous remercions sincèrement d'avoir bien voulu répondre à nos questions !

Annexe 2 : Entretien avec les acteurs impliqués dans la gestion de la FCM

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de mon Master de spécialisation en « Gestion des Risques et des Catastrophes à l'ère de l'Anthropocène ». Il vise à analyser la perception des populations locales quant à l'impact du climat et des actions humaines sur la dynamique paysagère de la FCM. Vos réponses seront traitées de manière anonyme. Votre participation est précieuse, et je vous encourage à exprimer librement vos points de vue. Merci infiniment pour votre contribution !

Numéro du questionnaire : Date : / / 2025.

I- Information de l'enquêté(e) :

Fonction : Structure/service :

Niveau d'étude : ; Sexe : Masculin / _ / Féminin / _ /

II- Perception de la gestion de la FCM

1- Connaissez-vous la Forêt Classée de Mbao ? Oui / _ / Non / _ /

2- Êtes-vous impliqué dans sa gestion ? Oui / _ / Non / _ /

3- Si oui, comment êtes-vous impliqué ?

Agent/ responsable en charge de la gestion / _ / Membre du comité de gestion / _ /

Partenaire de mise en œuvre des activités / _ / Partenaire technique et financier / _ /

Autres (préciser) :

4- La population est-elle impliquée dans la gestion de la forêt ? Oui / _ / Non / _ /

5- Si oui, comment est-elle impliquée ?

Instances de décision / _ / Activités de reboisement et restauration / _ / Activités de sécurisation et de protection / _ /
Exploitation et partage de la ressource / _ /

Autre (préciser) :

6- Y a-t-il des difficultés liées à la collaboration avec les populations ? Oui / _ / Non / _ /

7- Si oui, lesquelles ?

8- Que préconisez-vous pour pallier aux difficultés rencontrées ?

.....

9- Comment la Forêt Classée de Mbao est-elle gérée ?

Gestion étatique / _ / Gestion communautaire / _ / Gestion participative / _ / Concession / _ /

Autres (préciser) :

10- Y a-t-il des difficultés liées à ce type de gestion ? Oui / _ / Non / _ /

11- Si oui, lesquelles ?

.....

12- Selon vous, quel type de gestion serait efficace pour la Forêt Classée de Mbao ?

Gestion étatique / _ / Gestion communautaire / _ / Gestion participative / _ / Concession / _ /

Autres (à préciser) :

13- Existe-t-il un Plan d'Aménagement et de Gestion (PAG) de la FCM ? Oui / _ / Non / _ /

14- Si oui, est-il en vigueur ? Oui / _ / Non / _ /

15- Ce plan d'aménagement couvre / couvrait quelle période ?

16- Comporte-t-il des limites ? Oui / _ / Non / _ /

17- Si oui, lesquelles selon vous ?

18- Quelles sont les solutions envisageables pour son amélioration ?

.....

Y a-t-il des difficultés liées à la mise en œuvre de ce PAG ? Oui / _ / Non / _ /

19- Si oui, lesquelles ?

20- Que proposez-vous pour son amélioration ?

.....

21- Les organes de gestion sont-ils fonctionnels ? Oui / _ / Non / _ /

22- Si non, pourquoi selon vous ?

.....

23- Que proposez-vous pour le (s) rendre opérationnels ?

.....

24- Que proposez-vous pour la gestion durable de la FCM ?

.....

25- Y a-t-il un point que vous aimeriez compléter ou préciser concernant notre entretien ?

.....

Nous vous remercions sincèrement d'avoir bien voulu répondre à nos questions !

Annexe 3 : Images Landsat téléchargées

| N° | ANNEE | PRODUIT |
|----|-------|--|
| 1 | 1988 | LT05_L1TP_205050_19881012_20200917_02_T1 |
| 2 | 1989 | LT05_L1TP_205050_19891015_20200916_02_T1 |
| 3 | 1990 | LT05_L2SP_205050_19901103_20200915_02_T2 |
| 4 | 1992 | LT04_L1TP_205050_19921031_20200914_02_T1 |
| 5 | 1999 | LE07_L2SP_205050_19991104_20200918_02_T1 |
| 6 | 2000 | LE07_L2SP_205050_20001106_20200918_02_T1 |
| 7 | 2001 | LE07_L2SP_205050_20011109_20200917_02_T1 |
| 8 | 2002 | LE07_L1TP_205050_20020925_20200916_02_T1 |
| 9 | 2006 | LT05_L2SP_205050_20061115_20200831_02_T1 |
| 10 | 2007 | LT05_L2SP_205050_20070915_20200830_02_T1 |
| 11 | 2009 | LT05_L1TP_205050_20091022_20200825_02_T1 |
| 12 | 2010 | LT05_L1TP_205050_20101025_20200823_02_T1 |
| 13 | 2011 | LT05_L1TP_205050_20111012_20200820_02_T1 |
| 14 | 2014 | LC08_L2SP_205050_20141105_20200910_02_T1 |
| 15 | 2015 | LC08_L2SP_205050_20151108_20200908_02_T1 |
| 16 | 2016 | LC08_L2SP_205050_20161009_20200905_02_T1 |
| 17 | 2017 | LC08_L1TP_205050_20171028_20200902_02_T1 |
| 18 | 2018 | LC08_L1TP_205050_20181015_20200830_02_T1 |
| 19 | 2019 | LC08_L1TP_205050_20191018_20200825_02_T1 |
| 20 | 2020 | LC08_L1TP_205050_20201020_20201106_02_T1 |
| 21 | 2021 | LC08_L1TP_205050_20211023_20211103_02_T1 |
| 22 | 2022 | LC08_L1TP_205050_20221026_20221107_02_T1 |
| 23 | 2023 | LC08_L1TP_205050_20231029_20231109_02_T1 |
| 24 | 2024 | LC09_L1TP_205050_20241023_20241023_02_T1 |

➤ Annexe 4 : Matrice de confusion de la classification supervisée

❖ Matrice de confusion de la classification supervisée de 1988

| Classification | Zones de validation | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|------------------|-----------------------|------------------|--------|----------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| | Classe | Végétation dense | Végétation clairsemée | Infra. et bâties | Sol nu | Total | Erreurs de commission | Précision d'utilisation | |
| Végétation dense | 40 | 4 | 0 | 0 | 44 | 4/44 | 9,1% | 40/44 | 90,9% |
| Végétation clairsemée | 0 | 26 | 0 | 0 | 26 | 00/26 | 00% | 26/26 | 100% |
| Infrastructure et Bâties | 0 | 0 | 14 | 2 | 16 | 2/16 | 12,5% | 14/16 | 87,5% |
| Sol nu | 0 | 0 | 0 | 14 | 14 | 0/14 | 00% | 14/14 | 100% |
| Total | 40 | 30 | 14 | 16 | 100 | Erreur globale | | Précision globale | |
| Erreurs d'omission | 0/40 | 4/30 | 0/14 | 2/16 | | 6/100 | 6% | 94/100 | 94% |
| Précision de production | 100% | 87,67% | 100% | 87,5% | | | | | |

Overall accuracy [%] = **93.0018**

Kappa hat classification = **0.8708**

❖ Matrice de confusion de la classification supervisée de 2006

| | Zones de validation | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------------|------------------|-----------------------|------------------|--------|-------|-----------------------|--------|-------------------------|--------|
| Classification | Classe | Végétation dense | Végétation clairsemée | Infra. et bâties | Sol nu | Total | Erreurs de commission | | Précision d'utilisation | |
| | Végétation dense | 20 | 4 | 0 | 0 | 24 | 4/24 | 16,67% | 20/24 | 83,33% |
| | Végétation clairsemée | 0 | 46 | 0 | 0 | 46 | 00/46 | 00% | 46/46 | 100% |
| | Infrastructure et Bâties | 0 | 0 | 14 | 0 | 14 | 0/14 | 00% | 14/14 | 100% |
| | Sol nu | 0 | 0 | 0 | 16 | 16 | 0/16 | 00% | 16/16 | 100% |
| | Total | 20 | 50 | 14 | 16 | 100 | Erreur globale | | Précision globale | |
| | Erreurs d'omission | 0/20 | 4/50 | 0/14 | 0/16 | | 4/100 | 4% | 96/100 | 96% |
| | Précision de production | 20/20 | 46/50 | 14/14 | 16/16 | | | | | |
| | | 100% | 92% | 100% | 100% | | | | | |

Overall accuracy [%] = **96.5997**

Kappa hat classification = **0.9192**

❖ Matrice de confusion de la classification supervisée de 2024

| | Zones de validation | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------|------------------|-----------------------|-------|--------|------------|-------|-----------------------|--------|-------------------------|--------|
| Classification | Classe | Végétation dense | Végétation clairsemée | Bâti | Sol nu | Plan d'eau | Total | Erreurs de commission | | Précision d'utilisation | |
| | Végétation dense | 16 | 0 | 0 | 0 | 2 | 18 | 2/18 | 11,11% | 16/18 | 88,89% |
| | Végétation clairsemée | 0 | 38 | 0 | 0 | 0 | 38 | 0/38 | 00% | 38/38 | 100% |
| | Bâti | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 12 | 0/12 | 00% | 12/12 | 100% |
| | Sol nu | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | 26 | 0/26 | 00% | 26/26 | 100% |
| | Plan d'eau | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0/6 | 00% | 6/6 | 00% |
| | Total | 16 | 38 | 12 | 26 | 8 | 100 | Erreur globale | | Précision globale | |
| | Erreurs d'omission | 0/16 | 0/38 | 0/12 | 0/26 | 2/8 | | 2/100 | 2% | 98/100 | 98% |
| | Précision de production | 16/16 | 38/38 | 12/12 | 26/26 | 6/8 | | | | | |
| | | 100% | 100% | 100% | 100% | 75% | | | | | |

Overall accuracy [%] = **98.5129**

Kappa hat classification = **0.9787**