

#UNIVERSITÉSENGHOR

université internationale de langue française
au service du développement africain

EV

Suivi de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol du Parc national de Comoé : De l'analyse diachronique à la modélisation prospective

Présenté par

TUO LACINA

pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Département Environnement

Spécialité : Gestion des aires protégées et de la Biodiversité

Directeur de mémoire : Côte Agossa LINSOUSSI

Co-Directrice de mémoire : Étotépé A. SOGBOHOSSOU

le 05 octobre 2023

Devant le jury composé de :

Prof. Armand Kuyema NATTA Président

Enseignant chercheur à Université de Parakou

Dr Ir Étotépé A. SOGBOHOSSOU Examinatrice

Maître de Conférences (CAMES), Directrice du
département environnement à l'Université Senghor

Dr Ir Côte LINSOUSSI Directeur de mémoire

Enseignant chercheur à l'Université d'Abomey-Calavi

Remerciements

Ce travail est la somme des nombreuses rencontres, des échanges, de l'aide et du soutien (scientifique et financier) qui l'ont jalonné. Si je ne peux avoir un mot pour tous, je tiens néanmoins à adresser de chaleureux remerciements à ceux et celles qui ont été déterminants pour l'aboutissement à ce mémoire.

Nos remerciements vont en premier lieu à l'endroit du Professeur Thierry VERDEL, Recteur de l'Université Senghor qui a bien voulu approuver notre appartenance à la famille Senghorienne.

Nous exprimons notre gratitude au Dr Ir Étotépé A. SOGBOHOSSOU, Maître de Conférences (CAMES) et Directrice du département environnement à l'Université Senghor. Elle nous a accompagné tout au long de tous les processus qui ont abouti au présent document.

Nous adressons nos remerciements à l'Union Internationale de Conservation de la Nature (UICN) pour son appui financier dans le cadre du projet PAPBio Gouvernance régionale des aires protégées en Afrique de l'Ouest.

Nous adressons également notre reconnaissance au Général Adama TONDOSSAMA, Directeur Général de l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR), qui a bien voulu approuver et autoriser notre stage à la Direction de Zone Nord Est de l'OIPR à Bouna.

Nous sommes également reconnaissant à l'endroit du Dr Ir Côte LINSOUSSI, enseignant chercheur en SIG et Télédétection à l'Université d'Abomey-Calavi, encadreur de ce mémoire, je tiens à lui exprimer toute ma profonde gratitude pour cet accompagnement.

Au Lieutenant-Colonel Yao Roger KOUADIO, Directeur de Zone Nord-Est pour son engagement continu et soutien pertinent.

Au Lieutenant-Colonel Amara OUATTARA pour son encadrement, ses conseils, ses critiques et suggestions qui m'ont toujours aidé à franchir bien des étapes. Et à son assistant Lieutenant Orland Claver LOGOUN pour son appui à l'obtention de ce stage, son apport technique et ses conseils. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'exprime toute ma gratitude au Lieutenant Louis-Fulgence Blai GBAZA pour son appui constant et son aide toujours renouvelée. Je lui suis infiniment reconnaissant pour tous les moyens mis à ma disposition quand je sentais le besoin. Qu'il en soit vivement remercié.

A tous mes camarades de la dix-huitième promotion et amis pour leur sympathie et les bons moments passés ensemble et avec qui j'ai vécu cette expérience unique en son genre.

Résumé

Le Parc national de la Comoé occupe une position géographique unique, abritant une grande variété d'habitats, des forêts-galeries, des savanes boisées, des savanes herbeuses et des forêts claires. Ces types d'occupation en font un exemple exceptionnel sur le plan écologique en Côte d'Ivoire. La conjugaison des pressions liées aux activités humaines et aux impacts des changements climatiques provoque des évolutions dynamiques de l'occupation du sol et du couvert végétal de l'écosystème protégé. L'objectif de cette étude a été d'évaluer la dynamique paysagère et d'estimer l'occupation future du sol du Parc à l'aide des outils de télédétection, de SIG et de la modélisation spatio-temporelle à l'horizon 2035 et 2050. La simulation a été réalisée avec l'extension Module for Land Use Change Evaluation « MOLUSCE » du logiciel QGIS, qui est basé sur le principe des automates cellulaires. Les résultats ont révélé que les savanes ont régressé au profit des forêts entre 1988 et 2022. Elles sont passées respectivement de 89,46% en 1988 à 86,45% en 2022 et de 10,35% en 1988 à 13,28% en 2022. De plus, les prédictions montrent également une progression croissante des formations forestières dans le Parc entre 2022 et 2035 puis entre 2035 et 2050. Face à cette évolution spatiale des formations savanicoles et forestière dans le Parc national de la Comoé, une proposition de modèle de gestion durable des mutations spatiales s'impose afin de préserver les proportions actuelles des formations végétales et ainsi préserver les espèces végétales et animales endémiques et la biogénétique originelle du Parc.

Mots-clés : Côte d'Ivoire, aire protégée, automates cellulaires, occupation du sol, simulation

Abstract

Comoé National Park occupies a unique geographical position, home to a wide variety of habitats, gallery forests, wooded savannahs, grassy savannahs and clear forests. These types of occupation make it an outstanding ecological example in Côte d'Ivoire. The combination of pressures related to human activities and the impacts of climate change causes dynamic changes in land cover and plant cover of the protected ecosystem. The objective of this study was to evaluate the landscape dynamics and estimate the future land use of the Park using remote sensing, GIS and spatio-temporal modeling tools for 2035 and 2050. The simulation was carried out with the Module for Land Use Change Evaluation «MOLUSCE» extension of the QGIS software, which is based on the principle of cellular automata. The results revealed that savannahs declined in favour of forests between 1988 and 2022. They rose respectively from 89.46% in 1988 to 86.45% in 2022 and from 10.35% in 1988 to 13.28% in 2022. In addition, predictions also show a growing growth of forest formations in the Park between 2022 and 2035 and then between 2035 and 2050. Faced with this spatial evolution of savanicol and forest formations in the Comoé National Park, a proposal for a sustainable management model for spatial changes is needed to preserve the current proportions of plant formations and thus preserve endemic plant and animal species and the original biogenetic of the Park.

Keywords: Côte d'Ivoire, protected area, cellular automata, land use, simulation

Liste des acronymes et abréviations

<i>BNETD</i> :	Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement
<i>DZNE</i> :	Direction de Zone Nord-Est
<i>ETP</i>	Evapotranspiration potentielle
<i>GIS</i>	Geographic Information System
<i>GPS</i> :	Global Positioning System
<i>Ha</i>	Hectare
<i>MOLUSCE</i> :	Modules for Land Use Change Evaluation
<i>OIPR</i> :	Office Ivoirien des Parcs et Réserves
<i>PNC</i> :	Parc national de la Comoé
<i>SCP</i>	Semi-automatic Classification Plugin
<i>SIG</i> :	Système d'Information Géographique
<i>UICN</i> :	Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Liste des acronymes et abréviations	iv
Table des matières	v
1 Introduction.....	1
2 Revue de littérature	3
2.1 Imagerie satellitaire	3
2.2 Modèles de simulation de l’occupation du sol.....	3
2.2.1 Pressions sur la végétation à l’échelle régionale	4
3 Matériel et méthode	5
3.1 Matériel	5
3.1.1 Parc national de la Comoé	5
3.1.1.1 Situation géographique.....	5
3.1.1.2 Climat	5
3.1.1.3 Hydrographique	6
3.1.1.4 Relief	7
3.1.1.5 Végétation du parc.....	8
3.1.1.6 Faune du Parc national de la Comoé	9
3.1.2 Outils et données	9
3.1.3 Logiciels	11
3.2 Méthode	11
3.2.1 Acquisition des images satellites.....	11
3.2.2 Prétraitement des images satellites.....	11
3.2.3 Traitement des images.....	12
3.2.4 Analyse de données sur la dynamique des unités d’occupations de sol	13
3.2.4.1 Analyse de superficies.....	13
3.2.4.2 Taux de conversion ou taux d’évolution.....	14
3.2.4.3 Indice de couverture d’occupation du sol	14
3.2.5 Modélisation de la dynamique de l’occupation du sol	14

3.2.6	Analyse de la diversité biologique du parc national de la Comoé	15
4	Résultats et discussion	16
4.1	Résultats	16
4.1.1	Cartographie de l’occupation du sol	16
4.1.1.1	Etat d’occupation du sol entre 1988 et 2005	16
4.1.1.2	État actuel de l’occupation du sol du Parc national de la Comoé	18
4.1.1.3	Evaluation de la classification	20
4.1.2	Analyse de la dynamique de l’occupation du sol	21
4.1.3	Écosystèmes et diversité floristique	23
4.1.4	Simulation de l’état d’occupation du sol	25
4.1.4.1	Validation du modèle simulation	25
4.1.4.2	Simulation de l’occupation à l’horizon 2035 et 2050	28
4.1.4.3	Evolution de l’occupation du sol de 2022 à 2050	31
4.2	Discussion	32
4.2.1	Cartographie de l’occupation du sol	32
4.2.2	Simulation de l’état d’occupation du sol dans le PNC	34
4.2.3	Intérêt pour la conservation	35
5	Conclusion et recommandations	36
6	Reference	37
7	Liste des figures	40
8	Liste des tableaux	40
9	Annexe	41

1 Introduction

Le continent africain renferme une biodiversité exceptionnellement riche, formant des écosystèmes complexes (Mengue-Medou, 2002). Les aires protégées en Afrique couvrent une étendue significative, variant de 10,5 % dans les régions d’Afrique centrale et occidentale à 14,5 % dans les régions d’Afrique australe et orientale (Giraut et al., 2004). Cependant, ces espaces précieux sont soumis à une multitude de pressions. Ils se trouvent souvent sur des terrains convoités par divers acteurs de la société pour diverses utilisations, ce qui fait d’eux des centres d’intérêt majeurs à l’échelle locale, nationale et internationale. En conséquence, ces aires protégées sont fréquemment exposées à diverses menaces, notamment le braconnage, les conflits armés, l’urbanisation non contrôlée, la pollution industrielle, l’exploitation minière, les catastrophes naturelles et les changements climatiques (Wangari, 2014). Les enjeux auxquels sont confrontées les aires protégées du continent africain sont énormes. Ce sont les mêmes que sur les autres continents, mais à la puissance dix (10) (Geoffroy, 2017). Les pressions liées aux activités humaines et aux impacts des changements climatiques provoquent des évolutions dynamiques de l’occupation du sol et du couvert végétal des écosystèmes protégés (Kouassi et al., 2012 ; Diara , Ba, et Guisse, 2019). À cet effet, les conditions climatiques subissent une dégradation progressive, qui se manifeste sous diverses formes : les sécheresses causées par une pénurie de pluies et leur mauvaise répartition spatiotemporelle, les inondations causées par les pluies diluviennes, les pics de chaleur, les vents violents et les vents de sable (Belem et al., 2019). Le changement climatique et son impact sur la société et l’environnement sont au centre des préoccupations politiques et scientifiques actuelles. La question est cruciale pour des régions déjà fragilisées telles que l’Afrique de l’Ouest (Dezetter et al., 2010). Les aires protégées et leurs écosystèmes deviennent de plus en plus vulnérables au changement des régimes de précipitation, à l’élévation des températures, etc (Belem et al., 2019).

Devant une problématique aussi complexe, l’observation des paysages au cours du temps s’avère nécessaire afin d’estimer la nature et l’ampleur de l’évolution des processus naturels et anthropiques pour une gestion durable des ressources naturelles (Mamane et al., 2018). L’analyse de la dynamique des formations forestières peut s’inscrire ainsi dans le cadre des initiatives et stratégies de lutte contre la dégradation de l’environnement (Mamane et al., 2018).

Au regard de ces constats, nous avons porté notre attention sur le Parc national de la Comoé, situé dans le Nord-Est de la Côte d’Ivoire. En raison de sa localisation géographique, le Parc national de la Comoé revêt une importance écologique particulière. Il abrite une diversité exceptionnelle d’habitats de transition entre la forêt et la savane, comprenant des forêts-galeries, des savanes boisées, des forêts ripicoles et des zones de cuirasse latéritique appelées « bowé ». Tous les types de savane y sont représentés de manière remarquable (IUCN World Heritage Outlook, 2020). Face à cette situation, il est plausible de penser que l’occupation du

sol du Parc national de la Comoé puisse connaître des évolutions significatives dans sa dynamique au fil du temps. Pour confirmer ou infirmer cette hypothèse, nous pouvons recourir à différentes méthodes d'analyse des données d'observation de la Terre, telles que l'exploitation des séries temporelles d'images satellitaires, ainsi que la modélisation de l'occupation du sol à des périodes futures.

L'objectif principal de cette étude est donc d'évaluer la dynamique de l'occupation du sol du Parc national de la Comoé en vue de prédire les changements futurs. Il s'agira, plus spécifiquement :

(i) réaliser une étude diachronique de l'occupation du sol entre 1988 et 2022, c'est-à-dire examiner comment les unités d'occupation des terres ont évolué au fil du temps ;

ii) effectuer des simulations et des projections pour estimer l'évolution prévue de l'occupation du sol d'ici à 2035 et 2050, permettant ainsi d'anticiper les changements futurs ;

(iii) évaluer l'influence des changements d'occupation sur la diversité biologique de cet environnement naturel précieux d'ici 2050.

Ces objectifs contribueront à une meilleure compréhension de la dynamique des unités d'occupations et à la prise de décisions éclairées en matière de conservation et de gestion des ressources naturelles du Parc national de la Comoé.

2 Revue de littérature

2.1 Imagerie satellitaire

L'image se définit comme la représentation bidimensionnelle d'un objet, produite par la réflexion ou la réfraction de la lumière, ou plus simplement une matrice (Wiederkehr, 2013). Une imagerie de télédétection recueillie par des satellites artificiels (Spot, Landsat, Ikonos, Terra, etc.) en orbite autour de la terre ou d'autres planètes est appelée imagerie satellite (ou satellitaire). Les images existent dans différentes longueurs d'onde (UV, visible, infrarouge, etc.) et peuvent être combinées pour différentes interprétations. Elle englobe l'ensemble du processus de télédétection, qui consiste à capturer et enregistrer l'énergie provenant du rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser ces informations sous forme d'image, puis à les utiliser à des fins diverses (Robin, 1995 ; CCT, 1999).

Les images satellitaires présentent quatre caractéristiques essentielles (Wiederkehr, 2013) à savoir :

- la résolution spatiale qui est la taille du plus petit objet appelé pixel perceptible dans une image;
- la résolution spectrale, l'ensemble des fréquences des rayonnements électromagnétiques captées par le capteur ;
- la résolution radiométrique correspond à la plage de longueurs d'onde à l'intérieur de laquelle un capteur est sensible ;
- la résolution temporelle correspond à la fréquence d'acquisition des images par le vecteur au-dessus d'une zone donnée.

2.2 Modèles de simulation de l'occupation du sol

La conception d'un modèle est appelée modélisation. Il vise à expliquer (comprendre), à décrire (résumer) les données et à prédire (ou simuler) le fonctionnement d'un phénomène. La simulation, quant à elle, consiste en la mise en action du modèle (Coquillard et Hill, 1997). Pour simuler l'occupation du sol, plusieurs modèles sont utilisés. Parmi les plus utilisés, on peut citer : CA_MARKOV (Eastman, 2006), Land Change Modeler (LCM) (Eastman, 2006), DINAMICA EGO (Soares-Filho et al., 2002), CLUE-S (Verburg et al., 2002) et les automates cellulaires basés sur l'intelligence artificielle.

Un automate cellulaire est une idéalisation mathématique d'un système physique où l'espace, le temps et les états sont discrets, c'est-à-dire que l'espace réel est discrétisé en cellules. Chaque cellule change son état simultanément en tenant compte des règles de transition. Chaque cellule, à chaque instant, est dans un certain état (une entité, une couleur, etc.) qui appartient à un ensemble fini d'états, commun à toutes les cellules (Corgne, 2004). Les connexions d'une cellule à sa proximité permettent à la cellule de « connaître » l'état de ses voisins. Ainsi, le motif constitué de son propre état entouré des états des cellules voisines,

permet à chaque cellule, à l'aide de son mécanisme de transition, de faire évoluer son état sur une période (Maestriperi, 2012).

CA_Markov et CLUE-S utilisent des cartes qui expriment l'aptitude pour chacune des types d'occupation et d'utilisation des sols. Les données présentées sous forme de cartes sont générées en utilisant la corrélation entre les variables explicatives et les catégories d'occupation et d'utilisation des sols pour les modèles CA-Markov et CLUE-S, ainsi qu'entre les variables explicatives et les changements observés entre deux périodes, un temps t_0 et un autre temps t_1 . Avec CA_Markov, les cartes d'aptitude sont générées à l'aide d'une évaluation multi-critères supervisée. CLUE-S requiert d'utiliser une méthode statistique (régression logistique multivariée) provenant de programmes informatiques indépendants (Mas et al., 2011).

2.2.1 Pressions sur la végétation à l'échelle régionale

L'assèchement climatique particulièrement prononcé qu'a connu l'Afrique de l'Ouest pendant les années 1970-1990 est allé de pair avec une transformation rapide des systèmes écologiques et sociaux (Mahé et Paturel, 2009 ; Bene et Fournier, 2012). En effet, les sécheresses importantes ont entraîné la détérioration des sols, la diminution graduelle de la végétation naturelle et la propagation des zones dénudées et des croûtes superficielles (Barrat, 2012). Les activités humaines telles que la mise en cultures, les défrichages incontrôlés, les mauvaises pratiques agricoles, le surpâturage et d'autres ont accéléré ces changements environnementaux (Huber et al., 2011 ; Brandt et al., 2016, 2017). En plus des superficies, la composition floristique des écosystèmes forestiers a également changé (Brandt et al., 2016). Les zones plus humides et plus boisées ne sont pas laissées pour compte. Des études antérieures menées localement en Afrique de l'Ouest ont révélé des changements importants dans les unités de paysage forestier (Kouassi et al., 2012). C'est le cas de la Côte d'Ivoire où le taux annuel de déforestation est estimé à 4,32 % sur la période 1990-2000 et à 2,69 % sur la période 2000-2015 (BNETD, 2016).

Dans ces régions, une augmentation de la température de 0,2 à 0,8 °C est observée depuis la fin des années 1970. Cette augmentation thermométrique est plus marquée au niveau des minimales que des maximales (Kouassi, 2019). Selon le GIEC (2014) la région devrait être exposée d'ici 2050 à l'effet conjugué de la hausse des températures (+2 °C), de la variation des précipitations (-9 % en mai et +9 % en octobre) et de la montée des eaux des océans (30 cm). Par ailleurs, le haussement de la température engendre de fortes valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP), de faibles valeurs de l'humidité relative et des vents forts. Par conséquent, les formations naturelles constituant les biomes ont subi de profondes modifications, dues essentiellement à l'aridité du climat et aux activités humaines.

3 Matériel et méthode

3.1 Matériel

3.1.1 Parc national de la Comoé

3.1.1.1 Situation géographique

Le Parc national de la Comoé (PNC) avec une superficie de 1 148 756 hectares, est situé au nord-est de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 8°30' et 9°40' Nord et les longitudes 3°10' et 4°20' Ouest, dont la grande partie appartient à la région du Bounkani (Figure 1). Selon le dernier découpage administratif de la Côte d'Ivoire, il est à cheval entre trois régions administratives (Hambol, Bounkani et Tchologo), six départements (Dabakala, Bouna, Nassian, Tehini, Doropo et Kong) et 20 sous-préfectures (Cyrille-Joseph et al., 2020).

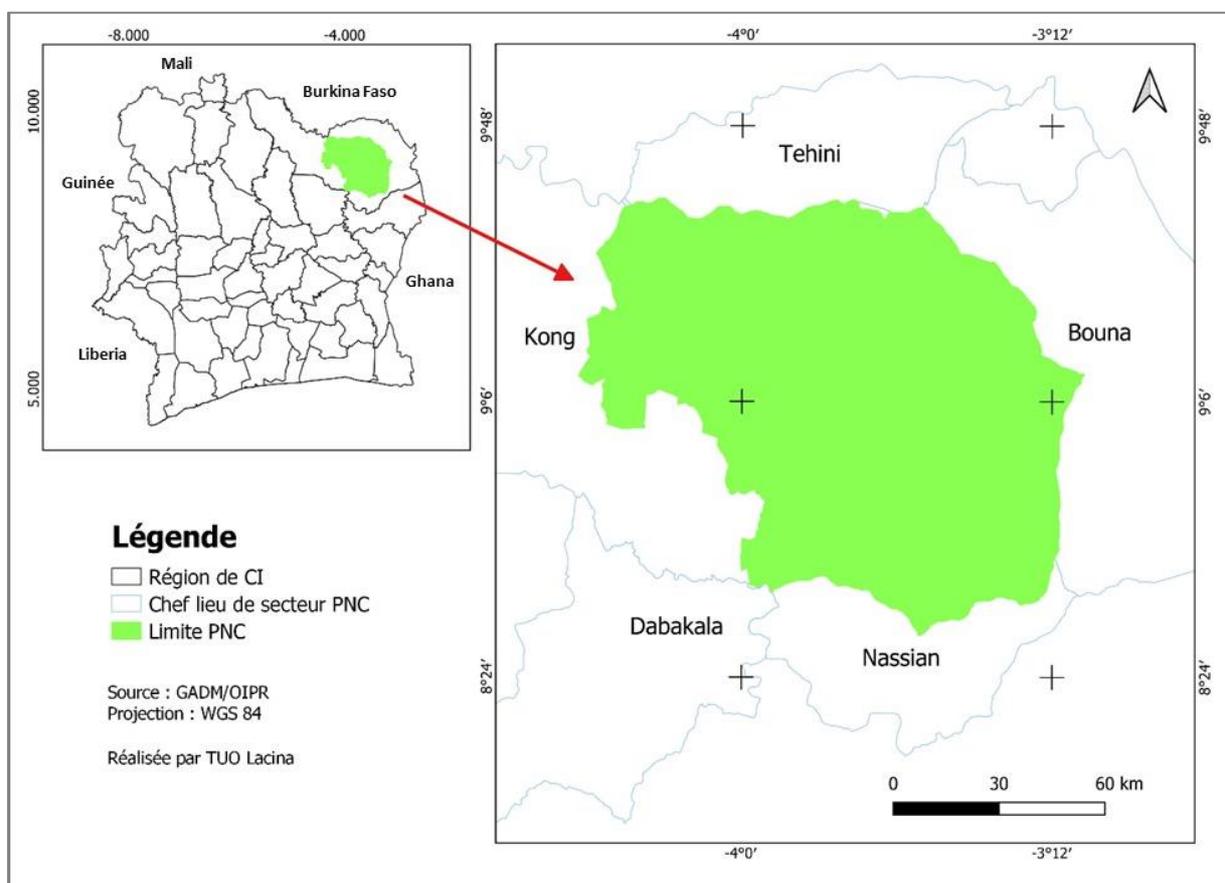


Figure 1 : Situation géographique du Parc national de la Comoé

3.1.1.2 Climat

Le climat qui prévaut sur l'ensemble du PNC est de type tropical sub-soudanais. La partie nord-est est plus sèche avec un climat tropical subaride soudanien. Le climat caractérisant le PNC comporte quatre saisons, dont deux saisons de pluie allant de mars à juin et de septembre à octobre. Celles-ci sont entrecoupées de deux saisons dites sèches qui s'étendent de novembre

à février et de juillet à août. Le régime pluviométrique varie du sud au nord dudit Parc (OIPR, 2015). Il s'agit de :

- La zone sud du Parc (Nassian, Sandégué, Dabakala et Bondoukou) avec un régime tropical à quatre-saisons, le maximum annuel des précipitations se situant en septembre ;
- La zone centre (Kong et Bouna) qui connaît un régime de transition avec des années à quatre saisons et d'autres à deux ;
- La zone nord (Téhini et Ferkessédougou) avec un régime tropical à deux saisons, le maximum de précipitations étant enregistrées en août-septembre. La grande saison sèche dure alors sept à huit mois (Avenard et al., 1971).

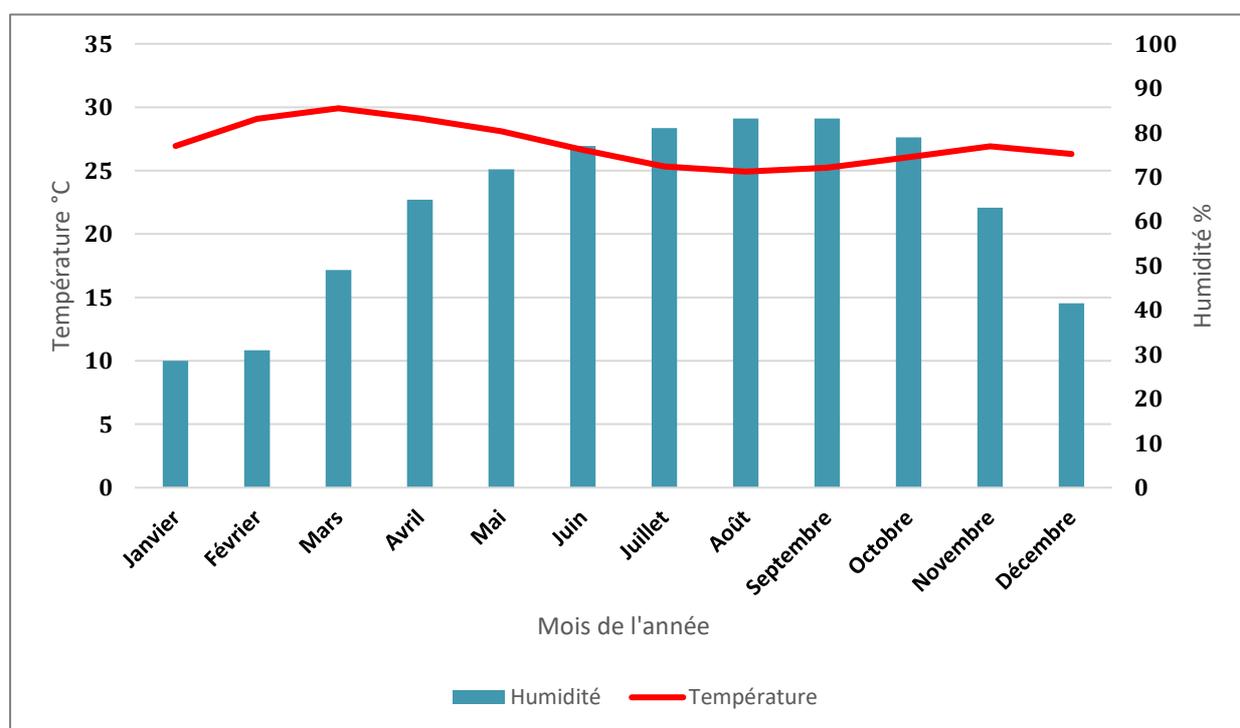


Figure 2 : Climatogramme du PNC de 1988 à 2021

Source : NASA POWER, (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>). Consulté le 10/09/2023

3.1.1.3 Hydrographique

L'hydrographie du PNC est principalement dominée par le fleuve Comoé, l'un des plus grands fleuves du pays (813Km). Le fleuve Comoé traverse la partie occidentale du Parc sur une longueur de 230 kilomètres (Cyrille-Joseph et al., 2020). Les principaux affluents de la Comoé qui traversent le PNC sont le Kongo, l'Iringou et la Lola (Figure N°3) et plusieurs cours d'eau temporaires et des mares (Lauginie, 2007).

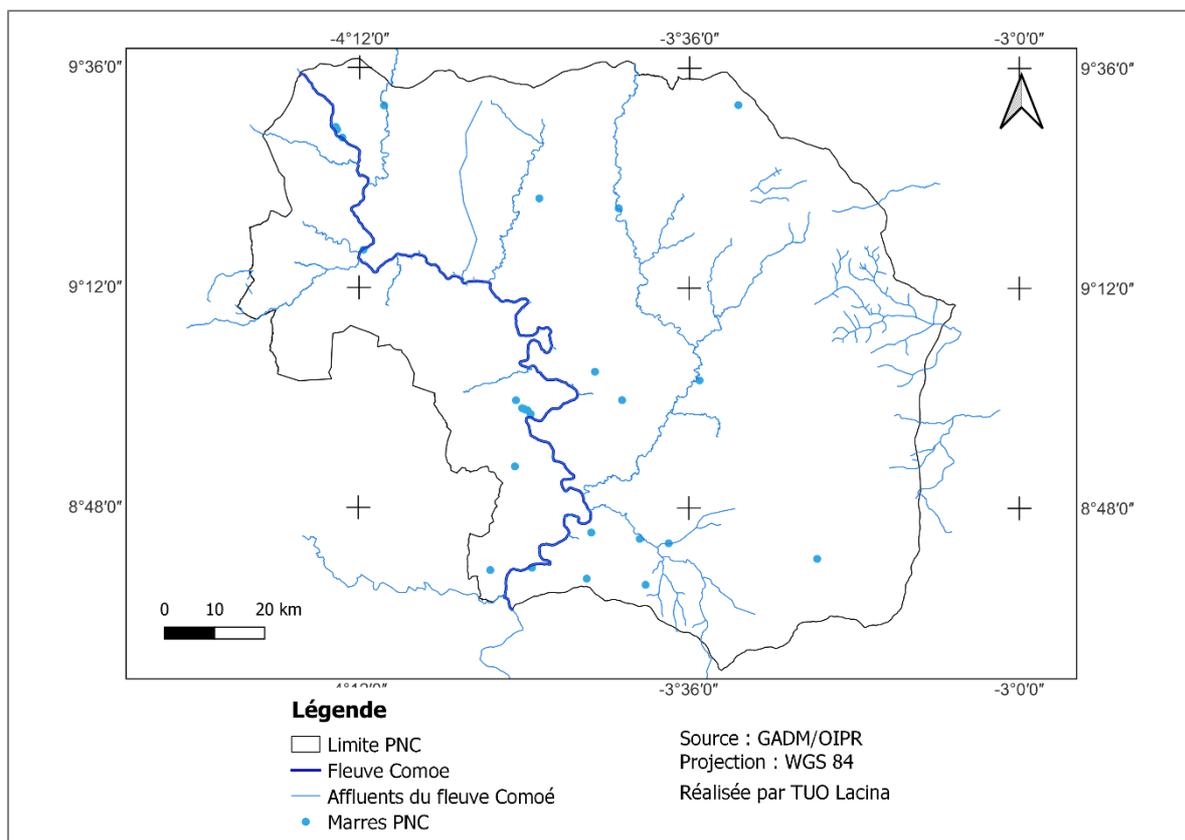


Figure 3 : Carte hydrographique du Parc national de la Comoé

3.1.1.4 Relief

Le PNC fait partie de la région géophysique des "Plateaux du nord", qui a une altitude moyenne de 300 mètres. Cet ensemble de plateaux aplanis et mollement ondulés est localement dominé par quelques reliefs dont la morphologie est liée aux formations géologiques (N'guessan, 2009) (Figure 4) :

- Des collines et barres de roches vertes s'élevant à 500-600 mètres dans le centre-nord (chaîne de Téhini) et le nord-ouest (Monts Yévélé et Wabélé) ;
- Des buttes tabulaires à sommets cuirassés sur schistes dépassant localement 500 mètres, au sud-est (Monts Boutourou).

Les altitudes minimale et maximale sont de 190 mètres et de 635 mètres au nord-est. À l'extrême nord-ouest du Parc, à l'est et à la frange sud, le socle est granitique (granites à biotite et granodiorites) avec des plateaux arénacés s'élevant à 350 mètres. Du centre-nord au sud-ouest s'étendent des alignements de schistes formant des "gouttières" principalement occupées par la Comoé, l'Iringou et d'autres affluents comme le Bavé ou le Kongo, avec des séries de roches vertes à l'origine des reliefs précités. Au sud-est du Parc, un massif compact de formations birrimiennes (schistes, roches vertes, quartzites, dolérites) présente une orientation nord-ouest/sud-est inhabituelle (Avenard et al., 1971).

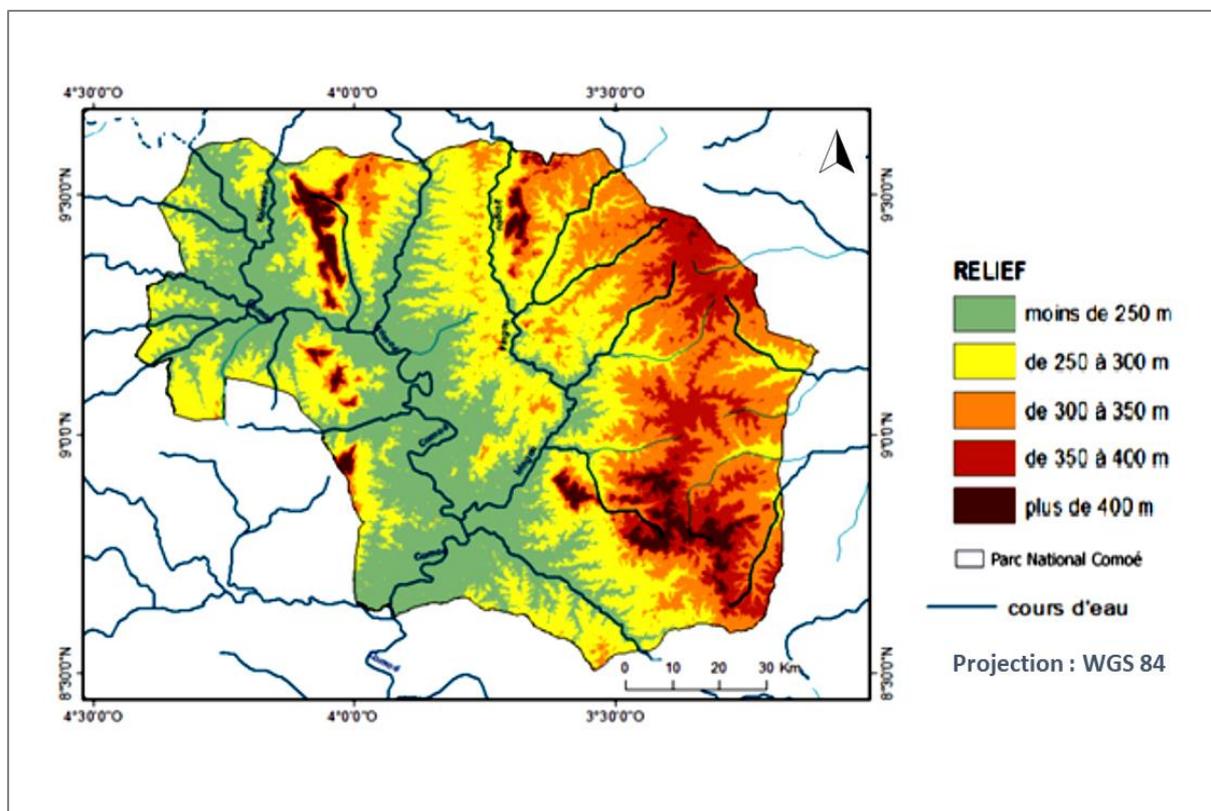


Figure 4 : Carte du relief du Parc national de la Comoé (OIPR, 2015)

3.1.1.5 Végétation du parc

Les études de référence sur la végétation et la flore du Parc national de la Comoé sont celles de Poilecot (1989), de Aké Assi (2001) et N’guessan (2009) et plus récemment celle de Konan (2022). Les principales formations de ce domaine sont la forêt claire et la savane (voir figure 5).

Le secteur sub-soudanien occupe la plus grande superficie du Parc et renferme aussi des îlots de forêts denses sèches, plus ou moins importants, surtout dans sa partie sud, au contact avec le domaine guinéen et les formations semi-décidues du secteur préforestier (N’guessan, 2009 ; OIPR, 2015).

Selon N’guessan (2009) et Languie (2007), la description de la végétation du PNC reste exhaustive. Néanmoins, la description résultante des observations et des données bibliographiques est constituée des types d’occupations suivants :

- Bowals et savanes herbeuses,
- Savanes arbustives et savanes arborées,
- Savanes boisées à *Burkea africana*,
- Forêt claire couvree,
- Îlots forestiers,
- Forêts galleries.

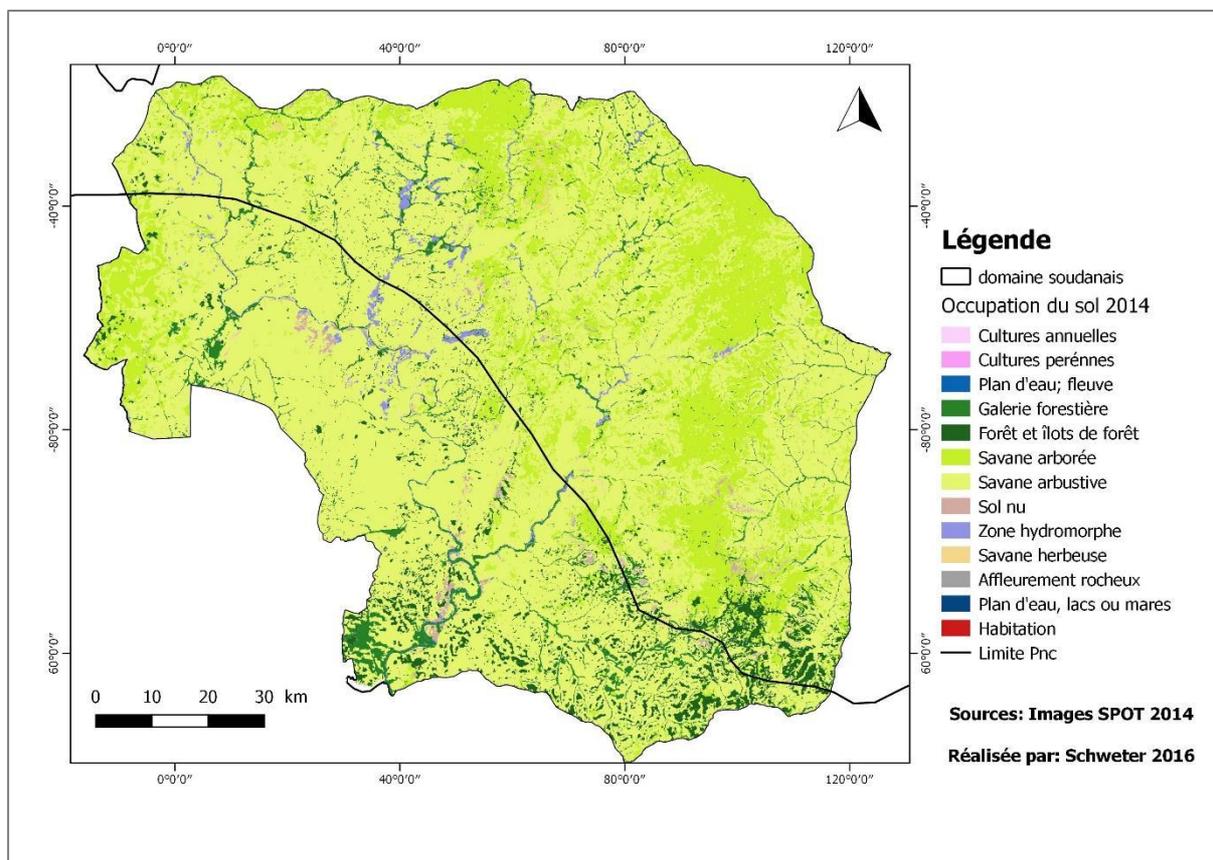


Figure 5 : Carte d'occupation du sol du Parc national de la Comoé basée sur les images Spot (Schweter, 2016)

3.1.1.6 Faune du Parc national de la Comoé

Un grand nombre d'espèces de faunes caractéristiques de la savane ouest-africaine et de la transition forêt et savane a été recensé dans le PNC. Il compte plus des trois quarts des espèces de grands mammifères de la Côte d'Ivoire (Lauginie, 2007). On dénombre 151 Mammifères dont 68 espèces de grands Mammifères. Les plus remarquables sont l'hippopotame *Hippopotragus equinus*, le bubale *Alcelaphus buselaphus*, le kob de Buffon *Kobus kob* et *Defassa Kobus ellipsiprymnus*, le guib harnaché *Tragelaphus scriptus*, l'ourébi *Ourebia ourebi*, le céphalophe de Maxwell *Philantomba maxwellii*, le céphalophe à flancs roux *Cephalophus rufilatus*, le buffle *Syncerus caffer*, le phacopère *Phacochoerus africanus*, l'hylochère *Hylochoerus meinertzhageni*, le porc à pinceau du Cameroun *Potamochoerus porcus*, l'éléphant *Loxodonta africana* (OIPR, 2015).

3.1.2 Outils et données

Plusieurs outils et données ont été utilisés pour mener à bien la présente étude.

Ces outils sont entre autres :

- un GPS (Global Positioning System) pour la géolocalisation et le contrôle-terrain ;
- une tablette pour la collecte de données (description) de l'occupation du sol lors de la visite de terrain ;
- un appareil photographique numérique pour les prises de vue.

Les données :

- des images satellitaires de type Landsat TM, ETM et Landsat 8 téléchargées sont utilisées pour la cartographie de l'occupation du sol. Les images LANDSAT ont une résolution de 30m et disponibles sur toutes les périodes de l'année, etc ;
- les limites géographiques du PNC pour les délimitations de la zone étudiée sur les images et lors de la cartographie ;
- les données climatiques de la zone étudiée pour étudier l'évolution de la température et la pluviométrie sur la période d'étude ;
- le modèle numérique de terrain du PNC (figure 6);
- les routes, les pistes intérieures et les cours d'eau du PNC.

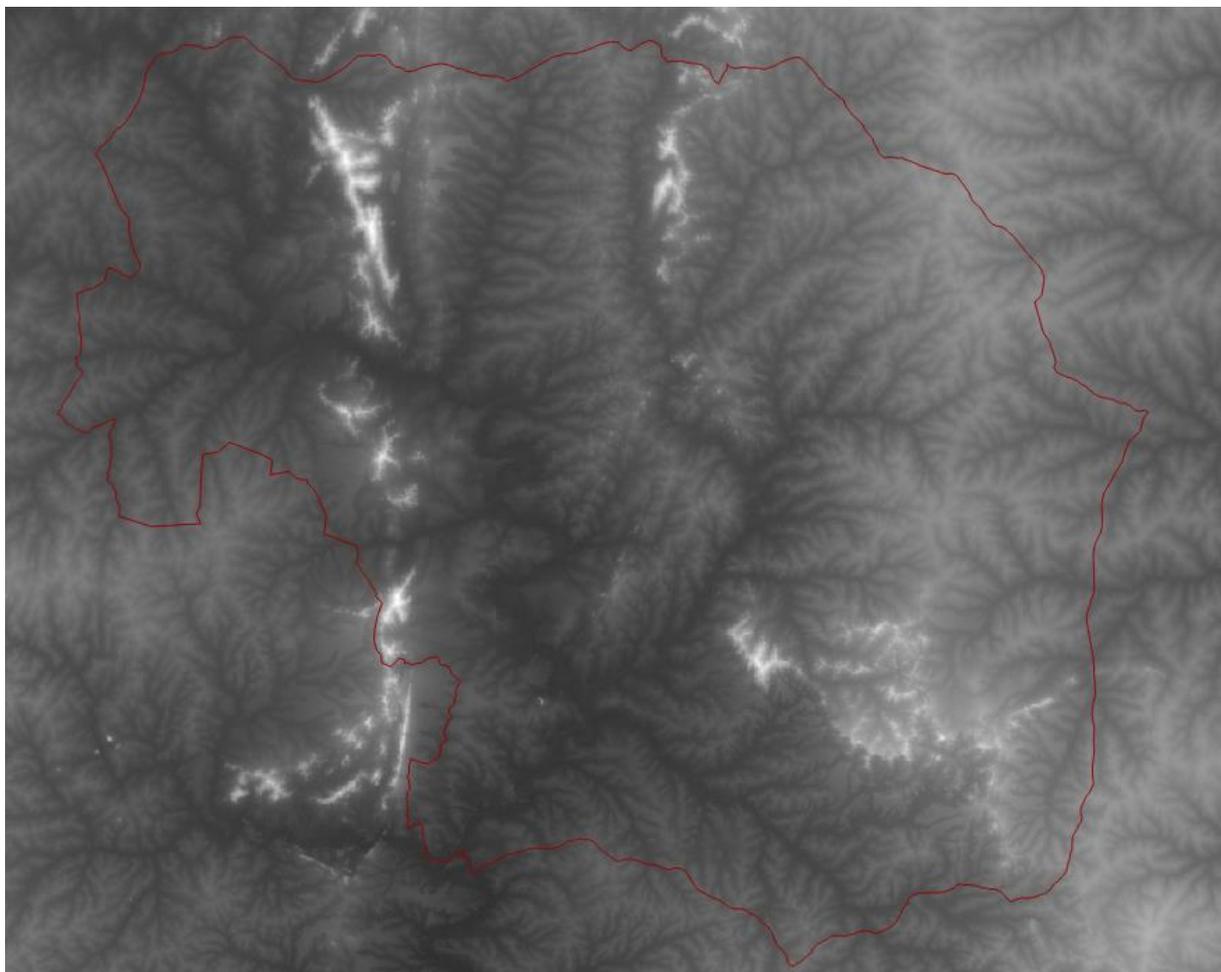


Figure 6 : Le modèle numérique de terrain du PNC

Tableau 1 : Données d'images satellitaire

Images	Scènes	Dates
TM 1988	196 – 53	16/12/1988
	196 – 54	16/12/1988
ETM+	196 – 53	21/01/2005
	196 – 54	21/01/2005
OLI-TIRS 2022	196 – 53	14/12/2022
	196 – 54	14/12/2022

3.1.3 Logiciels

Les logiciels utilisés sont :

- ERDAS Imagine pour les traitements des images satellitaires ;
- L'extension Molusce sur Qgis 2.8 pour la détection des changements et l'implémentation de la modélisation de l'occupation du sol ;
- QGIS 3.28 pour les travaux de cartographie de l'occupation du sol et analyses SIG de données ;
- Tableur Excel pour le traitement des données statistiques.

3.2 Méthode

3.2.1 Acquisition des images satellites

Les images utilisées sont issues du satellite LANDSAT et fournies gratuitement par l'United States Geological Survey (USGS). Elles ont été téléchargées sur le portail Earth explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Les données (Tableau I) ont été sélectionnées pendant la grande saison sèche (décembre à février), période pendant laquelle le taux de nébulosité et de couverture nuageuse est le plus faible, comme le recommande (Konan-Waidhet et al., 2022 ; Rwanga & Ndambuki, 2017).

3.2.2 Prétraitement des images satellites

Préalablement aux traitements, nous avons effectué des corrections géométriques et radiométriques des images téléchargées, appelées prétraitements. Le prétraitement des images désigne l'ensemble des opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Il a pour objectif de corriger les déformations géométriques et radiométriques des plateformes, des capteurs spécifiques, afin d'améliorer la lisibilité des images (Kouassi et al., 2012). Les améliorations radiométriques consistent à

corriger les effets des différents artefacts qui perturbent la mesure radiométrique, tandis que les corrections géométriques rendent possible la superposition à d'autres documents cartographiques de référence (Minkilabe, 2021).

3.2.3 Traitement des images

Le mosaïquage des images : La zone d'étude étant couverte par plusieurs scènes d'images Landsat, avant tout traitement, les scènes ont été mosaïquées à l'aide du logiciel Qgis. L'opération a consisté à juxtaposer les différentes bandes identiques des scènes entre elles pour en former une de plus grande (Kouassi, 2014).

Le rehaussement des images : Bien que les images soient issues du même satellite, il peut arriver que deux scènes adjacentes n'aient pas la même luminosité, faisant apparaître un fort contraste. Les images ont été donc rehaussées dans le but d'uniformiser les teintes des bandes spectrales des différentes images et faciliter l'interprétation (Kapiri et al., 2023).

L'extraction de la zone d'étude : La zone d'étude a été délimitée et extraite à partir des images mosaïquées en se servant des limites administratives de l'aire protégées établies par les gestionnaires de celle-ci.

La composition colorée : La composition colorée 5-3-1 a été appliquée sur les images satellitaires en vue d'une bonne distinction spectrale des différents types d'occupation du sol. Cette composition permet une meilleure discrimination des types d'occupation du sol de la zone d'étude. Les parties en rouge traduisent la présence de la forêt, la présence de sol est marquée par le blanc et la présence de l'eau par la couleur verte (Dezetter et al., 2010 ; Kapiri et al., 2023).

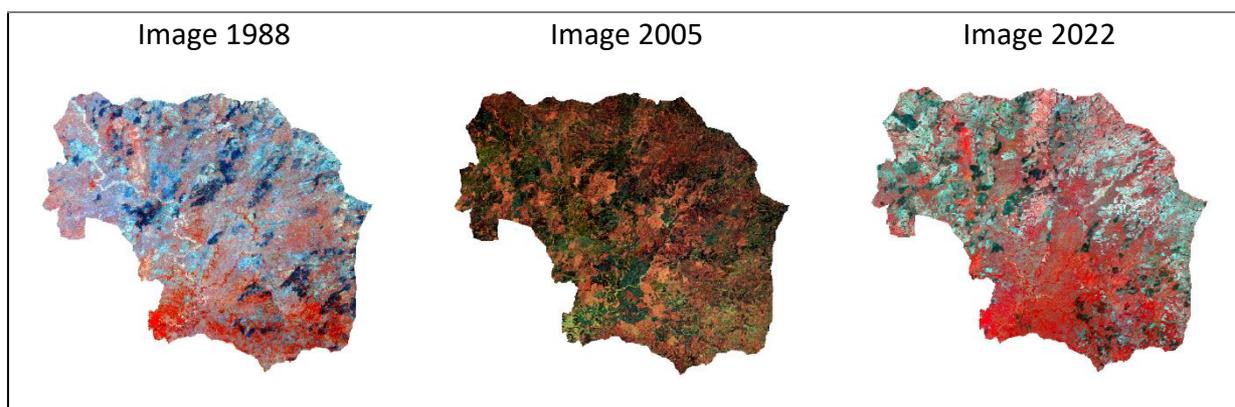


Figure 7 : Composition colorée des images de la zone d'étude

L'identification des classes d'occupation du sol : Les données de travaux antérieurs sur la cartographie de la zone d'étude ont été consultées pour permettre une première identification des types d'occupation du sol. Ensuite, des sites du Parc ont été sélectionnés en se servant sur la composition colorée des images puis leurs coordonnées ont été enregistrées

dans un GPS. Par la suite, ces sites ont été visités pour permettre l'identification et la validation des différentes classes d'occupation du sol (Ganamé et al., 2022).

La classification des images : Une classification supervisée à l'aide du plugin de classification semi-automatique (SCP) utilisé sous Qgis avec l'algorithme du « maximum de vraisemblance » a été effectuée pour générer les cartes d'occupation du sol pour détecter les changements intervenus dans la couverture végétale au fil des périodes (Dezetter et al., 2010). L'algorithme du « maximum de vraisemblance » a été utilisé car il est considéré comme l'algorithme le plus puissant dans la classification des cartes thématiques dans le domaine du changement (Kouassi, 2014). La classification correspond à l'action d'extrapoler, sur l'ensemble de l'image satellitaire, des zones tests préalablement choisies lors de la collecte des données et dont on connaît probablement la signification thématique (Ganamé et al., 2022).

Validation de la classification : La qualité de la classification obtenue a été évaluée à l'aide des paramètres calculés par la matrice de confusion que sont la précision globale (la précision des pixels classés par rapport au nombre total des pixels des zones test) et le coefficient Kappa (indice qui évalue globalement la fiabilité des résultats de la classification par rapport aux données de référence) (Carine et al., 2021). Appelée aussi tableau de contingence, la matrice de confusion est un tableau affichant les statistiques de la précision de classification d'une image, notamment le degré de classification erronée parmi les diverses classes. Cette étape permet de mettre en évidence la performance du traitement et la fiabilité des résultats obtenus (Tankoano et al., 2015).

Vérification terrain des classes d'occupation : Une série de points géographiques a été générée aléatoirement pour chacune des classes d'occupation identifiées. Ces coordonnées sont ensuite transférées dans un GPS pour les contrôles terrains. Tous ces points générés sont respectivement vérifiés dans le but de relever le type d'occupation et une description de la zone du point (Ganame, 2021 ; Tankoano et al., 2015).

La validation de la carte d'occupation du sol : Les réalités du terrain sont confrontées aux différentes classes des images classifiées. Des réajustements sont effectués en vue de parfaire la carte d'occupation du sol de la zone d'étude (Ganamé et al., 2022).

3.2.4 Analyse de données sur la dynamique des unités d'occupations de sol

Les analyses diachroniques de changement sont réalisées sur trois périodes 1988-2005, 2005-2022 et 1988 - 2022. Cette analyse consistera à évaluer l'état de surface à ces trois périodes par :

3.2.4.1 Analyse de superficies

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol, passe dans un premier temps par la comparaison des superficies des unités d'occupation du sol de 1988, 2005 et 2020. Cette

analyse a été effectuée en calculant à l'aide du logiciel Qgis les superficies des classes d'occupation du sol à partir des images classifiées (Carine et al., 2021).

3.2.4.2 Taux de conversion ou taux d'évolution

Le taux de conversion (Tc) ou le taux d'évolution temporelle d'une classe d'occupation de sol correspond au degré de transformation subie par cette classe en se convertissant vers d'autres classes (Minkilabe, 2021). C'est donc la quantité de changements observés au niveau d'une unité d'occupation du sol entre les deux périodes d'études (1988 à 2005 et 2005 à 2022). Il est obtenu selon la formule de l'équation 1 :

$$Tc = \frac{S_{it2} - S_{it1}}{S_{it1}} \times 100$$

S_{it1} : Superficie de l'unité d'occupation de sol i à la date initiale t_1 ,

S_{it2} : Superficie de la même unité à la date t_2 .

3.2.4.3 Indice de couverture d'occupation du sol

Cet indice est calculé pour toutes les unités d'occupation et il traduit le pourcentage d'occupation pour chacune d'elle dans le Parc. Il est déterminé par la formule :

$$Kv = \frac{\text{Superficie d'une unité d'occupation}}{\text{Superficie totale du milieu d'étude}} \times 100$$

3.2.5 Modélisation de la dynamique de l'occupation du sol

Les cartes de l'occupation des terres de 1988 et 2005 ont servi de base à la projection de l'occupation des terres aux horizons 2035 et 2050. Elle a été réalisée grâce à l'utilisation de la fonction MOLUSCE, une extension de Quantum GIS. MOLUSCE permet de simuler l'évolution de l'utilisation des terres sur la base de deux cartes d'occupation du sol de différentes années. Il calcule la probabilité de changement de chaque unité d'occupation sur la base de la matrice de transition et génère une carte de changement d'utilisation des terres. Ainsi, sur la base de trois approches, la probabilité de transition, les automates cellulaires ; et les réseaux de neurones artificiels ou la régression logistique des simulations sont ensuite effectuées.

MOLUSCE est conçu pour analyser, modéliser et simuler les changements d'utilisation/de couverture des terres. Le plugin intègre des algorithmes bien connus, qui peuvent être utilisés dans l'analyse des changements d'utilisation/de couverture des terres, l'analyse urbaine ainsi que les applications et projets forestiers. Dans cette étude, nous avons utilisé le modèle de réseaux de neurones artificiels « Artificial Neural Network ».

D'après (Maestriperi, 2012) la calibration est une étape fondamentale du travail car la qualité des résultats obtenus dépendra du bon paramétrage du modèle. Dans cette étude, les images de 1988 et 2005 servent de base pour extrapoler les quantités de la future occupation du sol.

Il s'agit d'une extrapolation linéaire car la simulation se base sur deux points dans le temps afin de calibrer le modèle (Maestriperi, 2012).

Dans cette étude, les cartes d'occupation des terres de 1988 et 2005 ont été analysées pour stimuler l'occupation du sol de 2022 ensuite pour prédire aux horizons 2035 et 2050 sous l'hypothèse que la dynamique d'occupation des terres reste comparable à celle obtenue entre 1988 et 2005 puis 2005 et 2022. Toutes les simulations ont été faites sous les contraintes de l'altitude du terrain (les pentes, les surfaces topologiques), des routes, des pistes intérieures et des cours d'eau de l'espace du Parc national de la Comoé (figure 8).

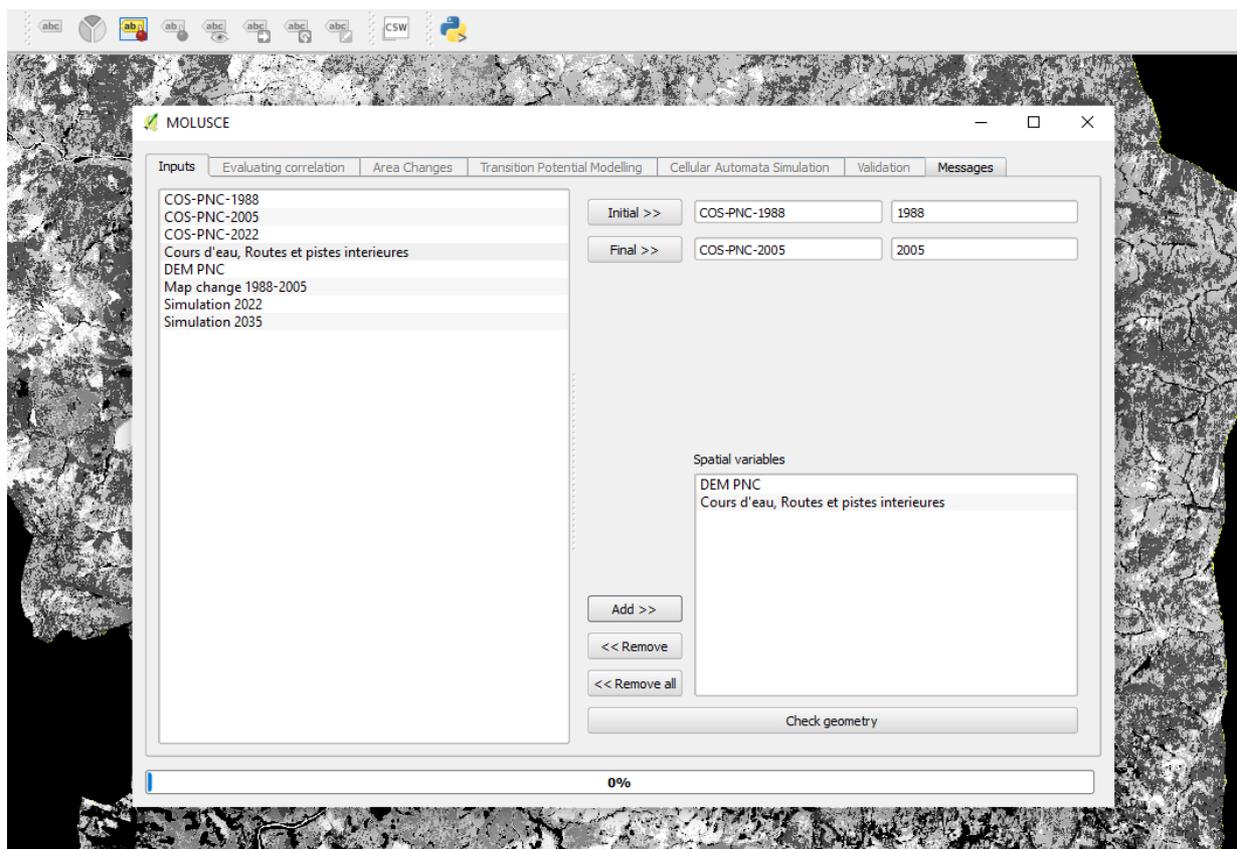


Figure 8 : Interface de simulation avec Molusce

3.2.6 Analyse de la diversité biologique du parc national de la Comoé

L'analyse de la diversité biologique du parc national de PNC a été entreprise en se basant sur une méthodologie de synthèse documentaire qui a englobé un examen minutieux de plusieurs études portant sur la faune et la flore de ce remarquable paysage. Ces sources comprenaient des études sur la biodiversité des espèces animales et végétales, les écosystèmes locaux, les facteurs conduisant aux conversions des terres, les menaces potentielles, et les mesures de conservation entreprises par les gestionnaires. Cette approche a impliqué une démarche rigoureuse, s'appuyant sur la consultation, la lecture attentive, et la rédaction de résumés détaillés d'articles scientifiques, de thèses académiques, de rapports de recherche, ainsi que

d'autres documents pertinents. L'objectif premier de cette analyse était d'acquérir une compréhension approfondie de la riche diversité biologique présente au sein du parc national de PNC.

4 Résultats et discussion

4.1 Résultats

4.1.1 Cartographie de l'occupation du sol

4.1.1.1 Etat d'occupation du sol entre 1988 et 2005

La classification supervisée des images de 1988 et 2005 nous a permis de faire la cartographie de l'occupation du sol du PNC et d'avoir les différentes proportions des unités le constituant. Au total sept classes ou unités d'occupation du sol ont été catégorisées, d'abord les formations forestières (les îlots de forêts et les forêts claires), ensuite les formations savaniques (les savanes arborées, les savanes arbustives et les savanes herbeuses), enfin les sols nus et les cours d'eau.

En 1988, les formations forestières étaient faiblement représentées, environ 10% (Ilot forêt 5,07% et 5,28% pour les forêts claires) et se trouvent en majorité dans le sud du Parc et le long des cours d'eau tandis que les formations boisées se répartissent sur toute l'étendue du Parc. La végétation est dominée à environ 90% par les formations de type savane. Les savanes arbustives occupent la plus grande proportion du PNC avec 47%, ensuite les savanes arborées avec 28,18% et les savanes herbeuses avec 14,28%. Les plus petites proportions sont occupées par les plans d'eau avec 0,12% et les sols nus avec 0,06% (figure 9).

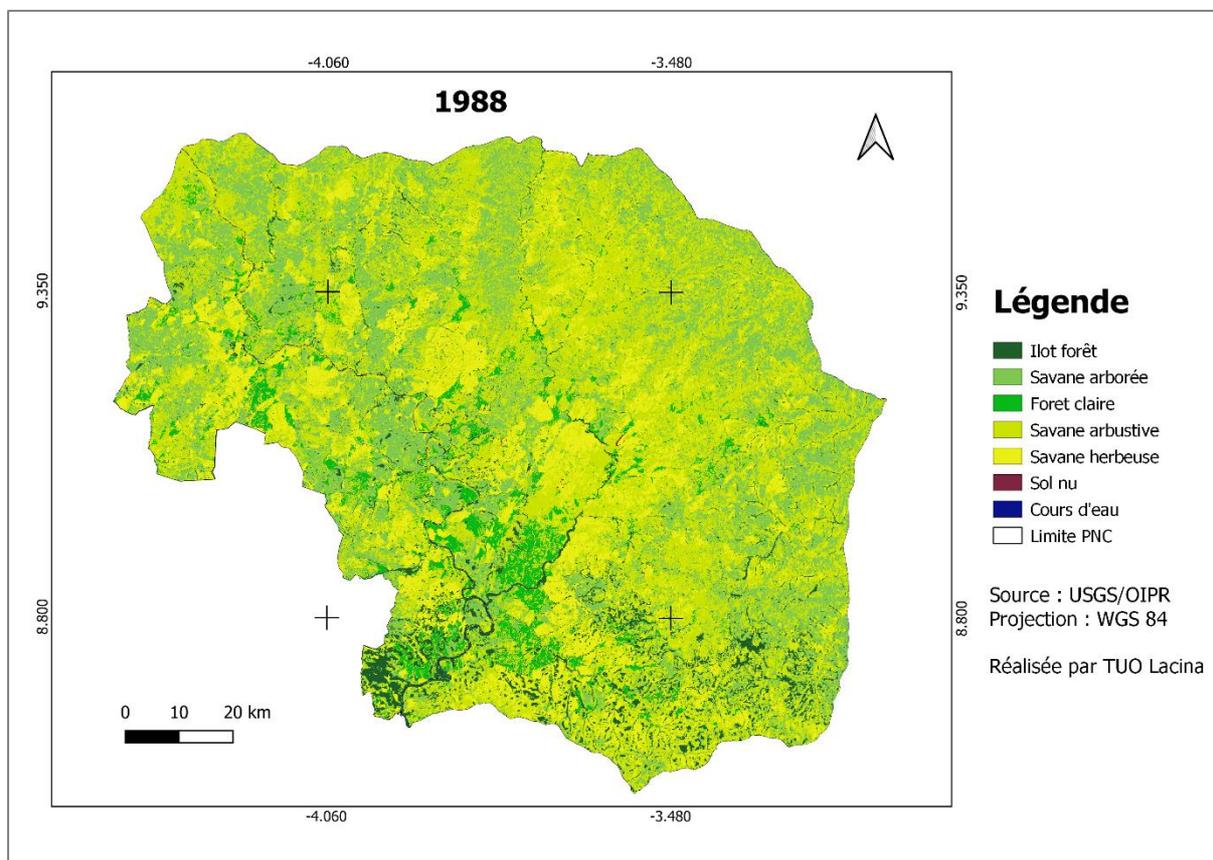


Figure 9 : Carte d'occupation du sol en 1988 du Parc national Comoé

En 2005, La physionomie du territoire d'étude reste toujours dominée par les savanes arbustives, les savanes herbeuses et les savanes arborées qui représentaient respectivement 49,23%, 25,67% et 12,06% environ 86,96% au total pour les formations de type savane. Néanmoins, on assiste à une légère progression des formations forestières à environ 11% de la superficie totale (3,17% pour les îlots de forêts et 8,34% pour les forêts claires). Une évolution progressive est également observée au niveau des sols nus avec 1,33% et des plans d'eau avec 0,16% (figure 10).

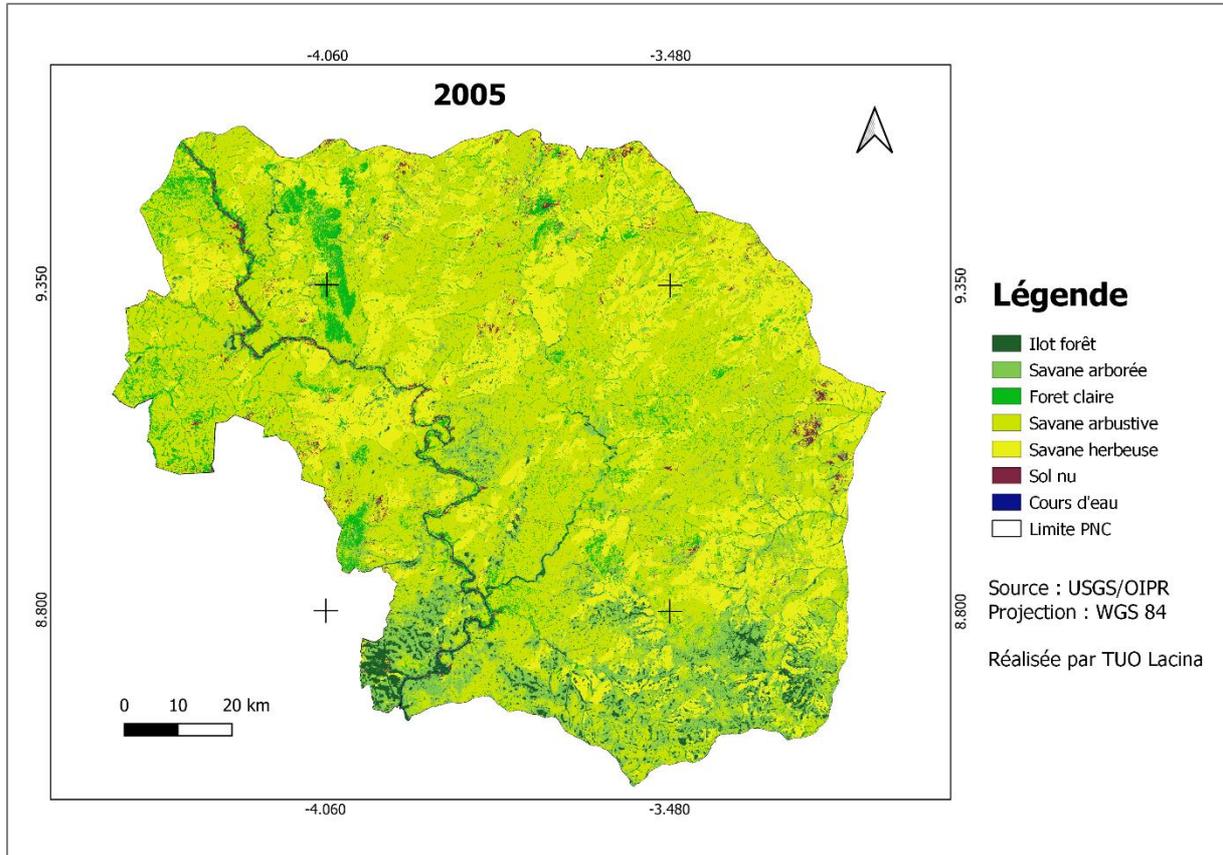


Figure 10 : Carte d'occupation du sol en 2005 du PNC

4.1.1.2 État actuel de l'occupation du sol du Parc national de la Comoé

En 2022, l'occupation du PNC est toujours partagée par les sept classes. La classe dominante est celle des savanes arbustives qui occupe une superficie de 606643,47 ha soit 52,83 % de la surface du Parc. Elle est suivie par celle des savanes arborées (271324,53 ha soit 23,63 %), des savanes arbustives (114597,27 ha soit 9,98 %) et celle des formations forestières qui occupent 152431,83 ha soit 13,27 % de la superficie totale du PNC (Figure 11).

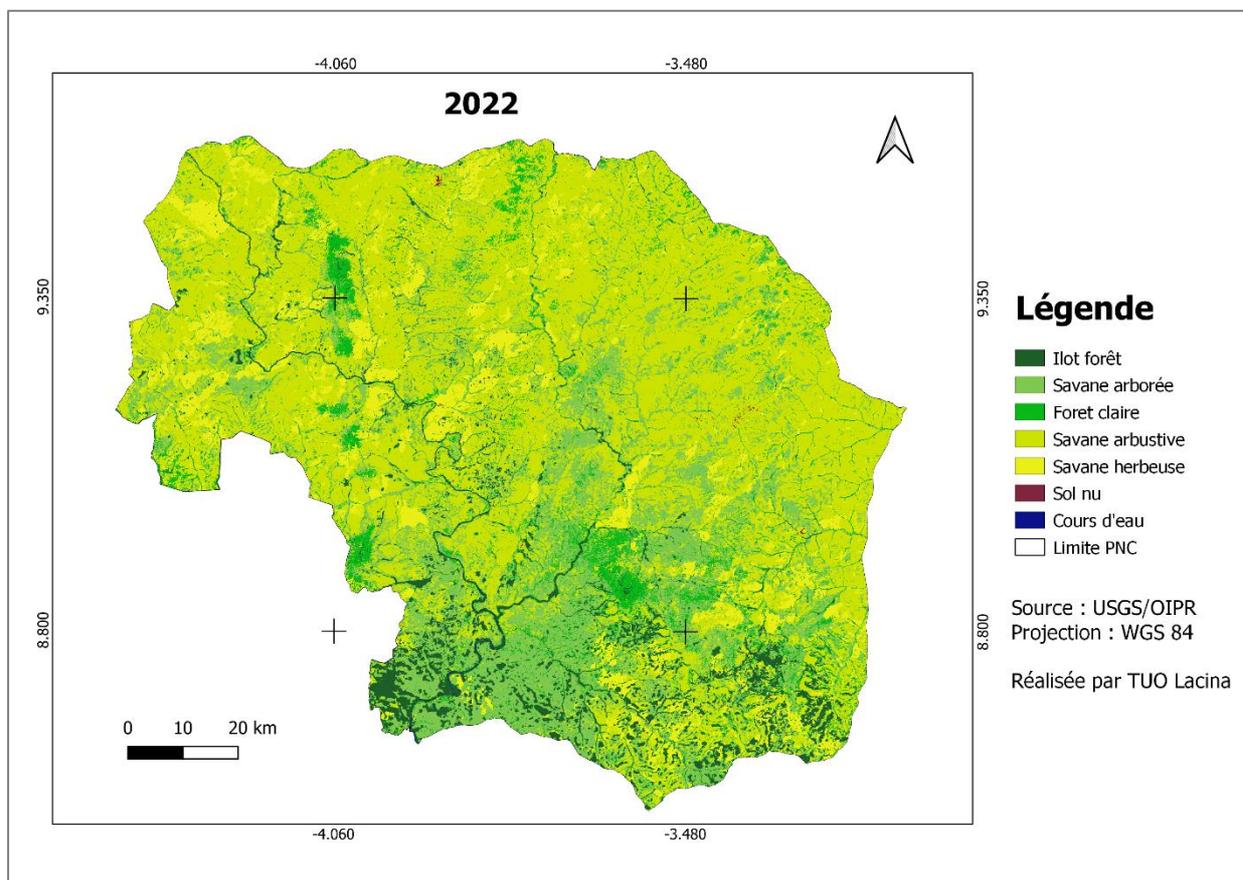


Figure 11 : Carte d'occupation du sol en 2022 du PNC

Le tableau (2) résume les différentes proportions de chaque type d'occupation du sol des trois périodes étudiées, de 1988 à l'état actuel du Parc 2022.

Tableau 2 : Tableau des proportions des types d'occupation du sol en 1988, 2005 et 2022

Class	1988		2005		2022	
	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
Ilot forêt	58251,33	5,07	36437,67	3,17	61323,66	5,34
Savane arborée	323558,37	28,18	138511,17	12,06	271324,53	23,63
Forêt claire	60622,56	5,28	95784,39	8,34	91107,9	7,94
Savane arbustive	539616,87	47,00	565312,23	49,24	606643,47	52,84
Savane herbeuse	163956,96	14,28	294776,55	25,67	114597,27	9,98
Sol nu	694,17	0,06	15378,39	1,34	1553,49	0,14
Cours d'eau	1440,09	0,13	1939,95	0,17	1590,03	0,14

4.1.1.3 Evaluation de la classification

La classification des images Landsat TM, ETM+ et OLI/TIR a été évaluée par le coefficient Kappa et les matrices de confusion de la classification de 1988 (Tableau 3), 2005 (Tableau 4) et 2022 (Tableau 5).

Dans l'ensemble, toutes les classes d'occupation du sol ont obtenu des taux de précision globale de classification supérieurs à 80 %. Cela traduit un accord presque parfait pour la qualité de l'interprétation des images utilisées.

Dans le tableau de la matrice de confusion, la diagonale représente le pourcentage de pixels bien classés et hors diagonale, le pourcentage de pixels mal classés.

Tableau 3 : Matrice de confusion 1988

Classe	Ilot forêt/Forêt galerie	Savane arboré	Forêt claire/Savane boisée	Savane arbustive	Savane herbeuse	Sol nu	Cours d'eau
Ilot forêt/Forêt galerie	382045	10025	4656	1238	233	10	12
Savane arboré	12579	1254234	15309	68115	4018	4650	2
Forêt claire/Savane boisée	4785	16609	824531	34659	2579	2208	94
Savane arbustive	3818	213356	177067	6130171	14065	10233	14
Savane herbeuse	1374	39561	38770	44257	3248345	17627	54
Sol nu	21	5099	2403	2629	5454	135938	38
Cours d'eau	241	129	1535	178	601	205	21341
Total	404863	1539013	1064271	6281247	3275295	170871	21555

Cette classification de l'image satellite de 1988 a obtenu une précision globale de 93.04 % et un coefficient Kappa de valeur 0.90.

Tableau 4 : Matrice de confusion 2005

Classe	Ilot forêt/Forêt galerie	Savane arboré	Forêt claire/Savane boisée	Savane arbustive	Savane herbeuse	Sol nu	Cours d'eau
Ilot forêt/Forêt galerie	604057	22264	412	11722	3030	7	40
Savane arboré	19208	3334081	5664	157468	2807	73	4
Forêt claire/Savane boisée	622	7050	626010	34658	21	4	0
Savane arbustive	22447	228550	41465	5712333	115897	1303	201
Savane herbeuse	517	3043	16	78022	1699005	34	2

Sol nu	3	18	17	256	93	6286	4
Cours d'eau	383	88	0	1286	891	6	15750
Total	647237	3595094	673584	5995745	1821744	7713	16001

Celle de 2005 obtient une précision globale de 94.04 % et 0.91 comme Coefficient Kappa.

Tableau 5 : Matrice de confusion 2022

Classe	Ilot forêt/Forêt galerie	Savane arboré	Forêt claire/Savane boisée	Savane arbustive	Savane herbeuse	Sol nu	Cours d'eau
Ilot forêt/Forêt galerie	655188	8408	24810	476	2536	237	28
Savane arboré	12435	2848840	114488	65632	8450	70	0
Forêt claire/Savane boisée	9939	24252	783366	11721	1225	535	109
Savane arbustive	1075	125107	73171	6632654	29708	3486	19
Savane herbeuse	1953	8088	15639	29617	1231350	123	1
Sol nu	3	3	40	222	14	10594	24
Cours d'eau	783	19	797	161	20	2216	17486
Total	681376	3014717	1012311	6740483	1273303	17261	17667

La classification de l'image de 2022 se termine avec une valeur de 95.47 % précision globale et un Coefficient Kappa de 0.92.

4.1.2 Analyse de la dynamique de l'occupation du sol

L'évolution et les changements survenus dans les classes d'occupation de sol du PNC ont été évalués par leur superficie, leur taux de changement ou transition (Tc), ainsi que leur indice de couverture végétale (Kv).

Entre 1988 et 2005, les analyses révèlent que sur les sept classes d'occupation du sol identifiées, deux ont connu une progression relativement importante. Il s'agit des classes savanes arborées et Îlots forêts avec un taux d'évolution respectivement de 16,12 % et 1,90%. Toutes les autres ont connu une régression de leur superficie en 17 ans. La plus importante régression est observée au niveau de la classe des savanes herbeuses avec un taux de conversion de -11,39%, qui est suivie par les forêts claires avec -3,06, puis les savanes arbustives, les sols nus et les plans d'eau. Le tableau 6 présente les taux de changement d'occupation du sol du PNC entre 1988 et 2005.

Tableau 6 : Evolution des types d'occupation du sol en 1988 et 2005

Type d'occupation	1988	2005	Différence	1988%	2005%	Kv %	Tc %
Forêt Galerie	58251,33	36437,67	-21813,66	5,07	3,17	-1,90	-37,45
Savane arborée	323558,37	138511,17	-185047,2	28,18	12,06	-16,12	-57,19
Forêt Claire	60622,56	95784,39	35161,83	5,28	8,34	3,06	58,00
Savane arbustive	539616,87	565312,23	25695,36	47,00	49,24	2,24	4,76
Savane herbeuse	163956,96	294776,55	130819,59	14,28	25,67	11,39	79,79
Sol nu	694,17	15378,39	14684,22	0,06	1,34	1,28	2115,36
Cours d'eau	1440,09	1939,95	499,86	0,13	0,17	0,04	34,71

Entre 2005 et 2022, les savanes arborées, les îlots de forêts ainsi que les savanes arbustives ont connu une progression de leur superficie totale (Tableau 7). Toutefois, les forêts claires, les savanes herbeuses, les sols nus et les plans d'eau ont connu des écarts négatifs entre les deux périodes d'étude. Ce sont donc ces formations qui ont fait place aux savanes arborées, savanes arbustives et îlots forêts. Cet état de chose montre donc une forte tendance de reconstitution du couvert végétal du PNC.

Tableau 7 : Evolution des types d'occupation sol entre 2005 et 2022

Type d'occupation	Proportion 2005 (ha)	Proportion 2022 (ha)	Différence (ha)	Proportion 2005 (%)	Proportion 2022 (%)	Kv (%)	Tc (%)
Forêt Galerie	36437,67	61323,66	24885,99	3,17	5,34	2,17	68,30
Savane arborée	138511,17	271324,53	132813,36	12,06	23,63	11,57	95,89
Forêt Claire	95784,39	91107,9	-4676,49	8,34	7,94	-0,41	-4,88
Savane arbustive	565312,23	606643,47	41331,24	49,24	52,84	3,60	7,31
Savane herbeuse	294776,55	114597,27	-180179,28	25,67	9,98	-15,69	-61,12
Sol nu	15378,39	1553,49	-13824,9	1,34	0,14	-1,20	-89,90
Cours d'eau	1939,95	1590,03	-349,92	0,17	0,14	-0,03	-18,04

Enfin, la dynamique d'occupation du sol entre 1988 et 2022 révèle des écarts de proportions des unités d'occupations moins importants que ceux observés entre 1988 et 2005 puis entre

2005 et 2022. Cela traduit la stabilité de l'occupation du sol de l'aire autour de ces valeurs qui ont été bouleversées par les proportions de la période de 2005 dû à des facteurs importants de changements et de pression sur le Parc pendant cette période.

Tableau 8 : Evolution de la dynamique de l'occupation du sol entre 1988 et 2022

Type d'occupation	Proportion 1988 (ha)	Proportion 2022 (ha)	Différence (ha)	Proportion 1988 (%)	Proportion 2022 (%)	Kv %	Tc %
Forêt Galerie	58251,33	61323,66	3072,33	5,07	5,34	0,27	5,27
Savane arborée	323558,37	271324,53	-52233,84	28,18	23,63	-4,55	-16,14
Forêt Claire	60622,56	91107,9	30485,34	5,28	7,94	2,66	50,29
Savane arbustive	539616,87	606643,47	67026,6	47,00	52,84	5,84	12,42
Savane herbeuse	163956,96	114597,27	-49359,69	14,28	9,98	-4,30	-30,11
Sol nu	694,17	1553,49	859,32	0,06	0,14	0,07	123,79
Cours d'eau	1440,09	1590,03	149,94	0,13	0,14	0,01	10,41

4.1.3 Écosystèmes et diversité floristique

De nombreux travaux scientifiques ont été menés sur la flore du parc, et une première liste de 620 espèces végétales a été dressée par Poilecot (1991), faisant état de 191 espèces ligneuses (dont 62 arbres, 129 arbustes et lianes) et de 429 espèces herbacées, dont 104 graminées. Sur le plan phytogéographique et sur la base de ces travaux menés en 1991, les espèces soudano-zambéziennes dominent avec 63,7 % des espèces recensées. Viennent ensuite les espèces à large répartition (pantropicales, afro-asiatiques, afro-malgaches et afro-américaines) avec 25,2 %. Ces espèces sont, pour la plupart, des plantes annuelles des milieux ouverts, espèces post-culturelles et rudérales. Elles sont dispersées sur les anciens sites d'occupation humaine ainsi que sur les parcours des troupeaux domestiques ou lors des travaux d'aménagement du parc. Enfin, 11,1 % sont des espèces guinéo-congolaises, confinées aux forêts-galeries et aux îlots de forêts denses les plus humides.

En 2002, une seconde liste des espèces végétales du PNC, a été à nouveau dressée par Poilecot. Cette fois-ci, elle fait état de 1162 espèces de plantes réparties en 148 familles (Poilecot, 2002). Parmi ces plantes, on dénombre une dizaine d'endémiques ouest-africaines (N'guessan, 2009).

La plus récente étude sur cette thématique est celle de Konan (2022), son étude a permis de recenser 546 espèces, réparties en 326 genres appartenant à 76 familles (Figure 12). Cette flore est composée de 342 taxons ligneux (avec 79 lianes) et 204 taxons herbacés. Les familles plus représentées sont les Fabaceae (82 espèces), les Poaceae (53 espèces), les Rubiaceae (40

espèces), les Cyperaceae (39 espèces), les Malvaceae (24 espèces), les Apocynaceae (20 espèces), les Compositae (18 espèces), les Combretaceae et les Vitaceae (16 espèces chacune). L'étude a montré dans le secteur sub-soudanais, une forte proportion des espèces de la région guinéo-congolaise et la région soudano-zambézienne (40,19 %). Cette proportion est suivie de celles des espèces région soudano-zambézienne (27,37 %). Le secteur soudanais quant lui présente une forte proportion des espèces de la région guinéo-congolaise et soudano-zambézienne (64,46 %). Cette proportion est suivie de celle des espèces région soudano-zambézienne caractérisant les zones soudanaises (27,37 %). De plus, elle montre que les formations savanicoles sont dominées par les espèces de la région de la soudano-zambézienne et les formations forestières sont dominées par les espèces de la région guinéo-congolaise et la région soudano-zambézienne dans les deux secteurs du parc.

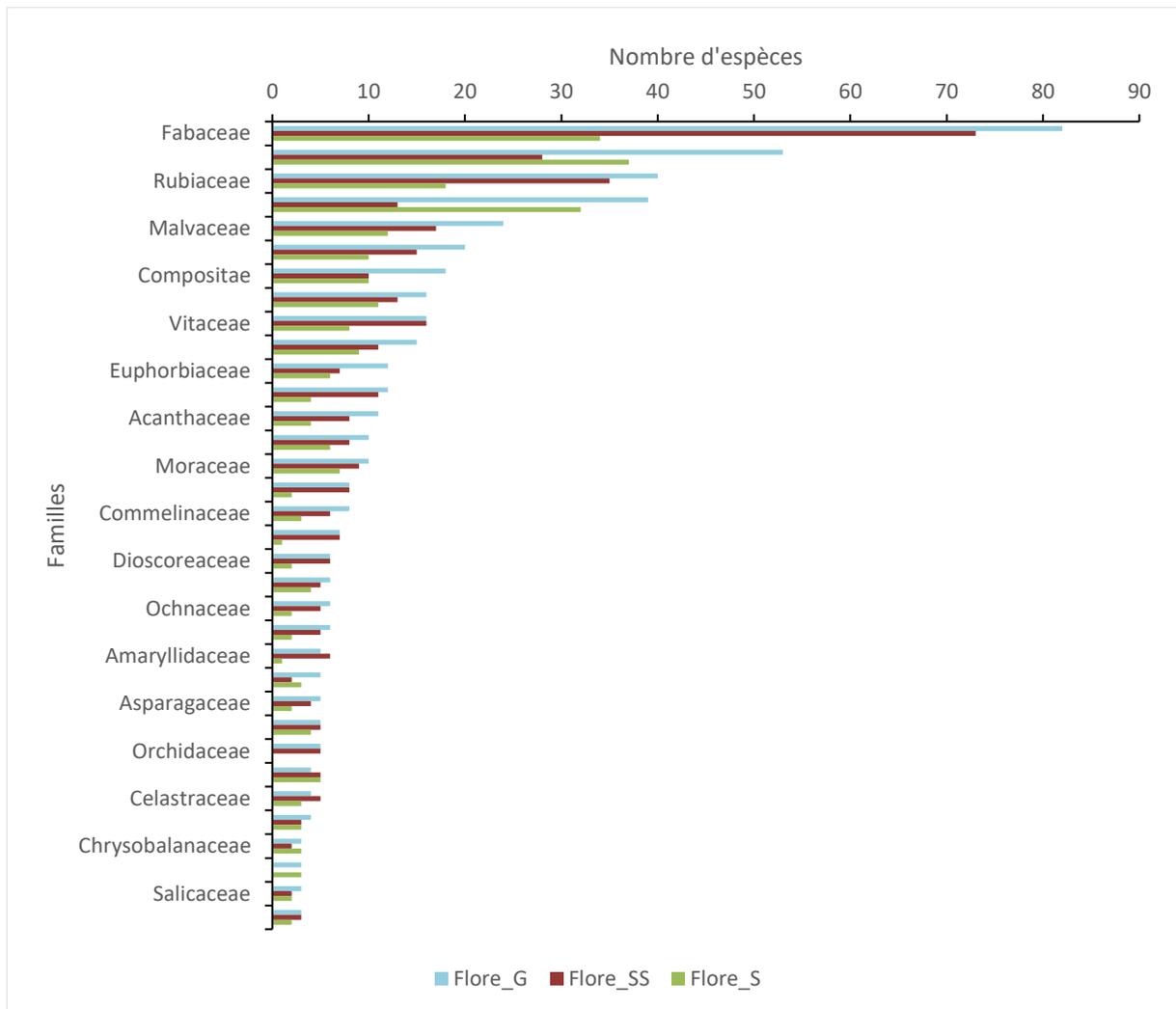


Figure 12 : Familles de la flore du Parc national de la Comoé (Konan, 2022).

Flore_G : flore globale ; Flore_SS : flore du secteur sub-soudanais ; Flore_S : flore du secteur soudanais.

4.1.4 Simulation de l'état d'occupation du sol

4.1.4.1 Validation du modèle simulation

Cette étape nous a permis de valider le modèle de prédiction en faisant une modélisation de l'occupation du sol de 2022 à partir des cartes de bases de 1988 et 2005. Dans le but d'analyser et comparer les différentes proportions actuelles des types d'occupation du sol aux résultats du modèle. La matrice de transition entre 1988 et 2005 (tableau 9) indique la probabilité dont dispose chaque catégorie en 2002 de migrer vers une autre catégorie ou de rester stable en 2022.

Tableau 9 : Matrice de transition des unités d'occupation du sol entre 1988 et 2005

2005	Forêt Galerie	Savane arborée	Forêt Claire	Savane arbustive	Savane herbeuse	Sol nu	Cours d'eau
Forêt Galerie	0,87	0,01	0,12	0	0	0	0
Savane arborée	0,16	0,31	0,14	0,31	0,08	0	0
Forêt Claire	0,05	0,29	0,27	0,31	0,09	0	0
Savane arbustive	0	0,29	0,05	0,56	0,10	0	0
Savane herbeuse	0	0,13	0,04	0,71	0,12	0	0
Sol nu	0	0,07	0,08	0,74	0,07	0,03	0
Cours d'eau	0,02	0	0,05	0	0	0,11	0,81

L'analyse du tableau 9 montre une nette stabilité globale des unités d'occupations du sol avec un maximum pour les îlots forêts et les plans d'eau et un minimum au niveau des savanes herbeuses et les sols nus. Pour la calibration du modèle, la carte d'occupation du sol simulée en 2022 a été validé à la comparaison à la carte d'occupation du sol de 2022 issue de la classification comme l'indique la figure 14 et à l'évaluation de la simulation des indices kappa (figure 13). Les résultats de la simulation obtenus sont approximativement similaires. Le tableau 11 présente les différentes proportions des types d'occupations du sol des deux cartes.

Tableau 10 : Proportions actuelles et simulées de l'occupation du sol en 2022

Type d'occupation	Proportion 2022 (ha)	Proportion 2022 Simulé (ha)	Différence (ha)	Proportion 2022 (%)	Proportion 2022 Simulé (%)	Kv %
Forêt Galerie	61323,66	58938,3	-2385,36	5,34	5,13	-0,21

Savane arborée	271324,53	172618,2	-98706,33	23,63	15,03	-8,60
Forêt Claire	91107,9	81523,17	-9584,73	7,94	7,10	-0,83
Savane arbustive	606643,47	703856,79	97213,32	52,84	61,30	8,47
Savane herbeuse	114597,27	124688,97	10091,7	9,98	10,86	0,88
Sol nu	1553,49	3965,22	2411,73	0,14	0,35	0,21
Cours d'eau	1590,03	2549,7	959,67	0,14	0,22	0,08

% of Correctness	83.24750
Kappa (overall)	0.73038
Kappa (histo)	0.84486
Kappa (loc)	0.86450

Figure 13 : l'évaluation de la simulation des indices kappa

Le résultat de l'évaluation montre le pourcentage des résultats corrects dans la simulation. La simulation a obtenu une précision de 83.25 %. Cela montre que 83.25% des prédictions et des classifications effectuées par le modèle sont correctes.

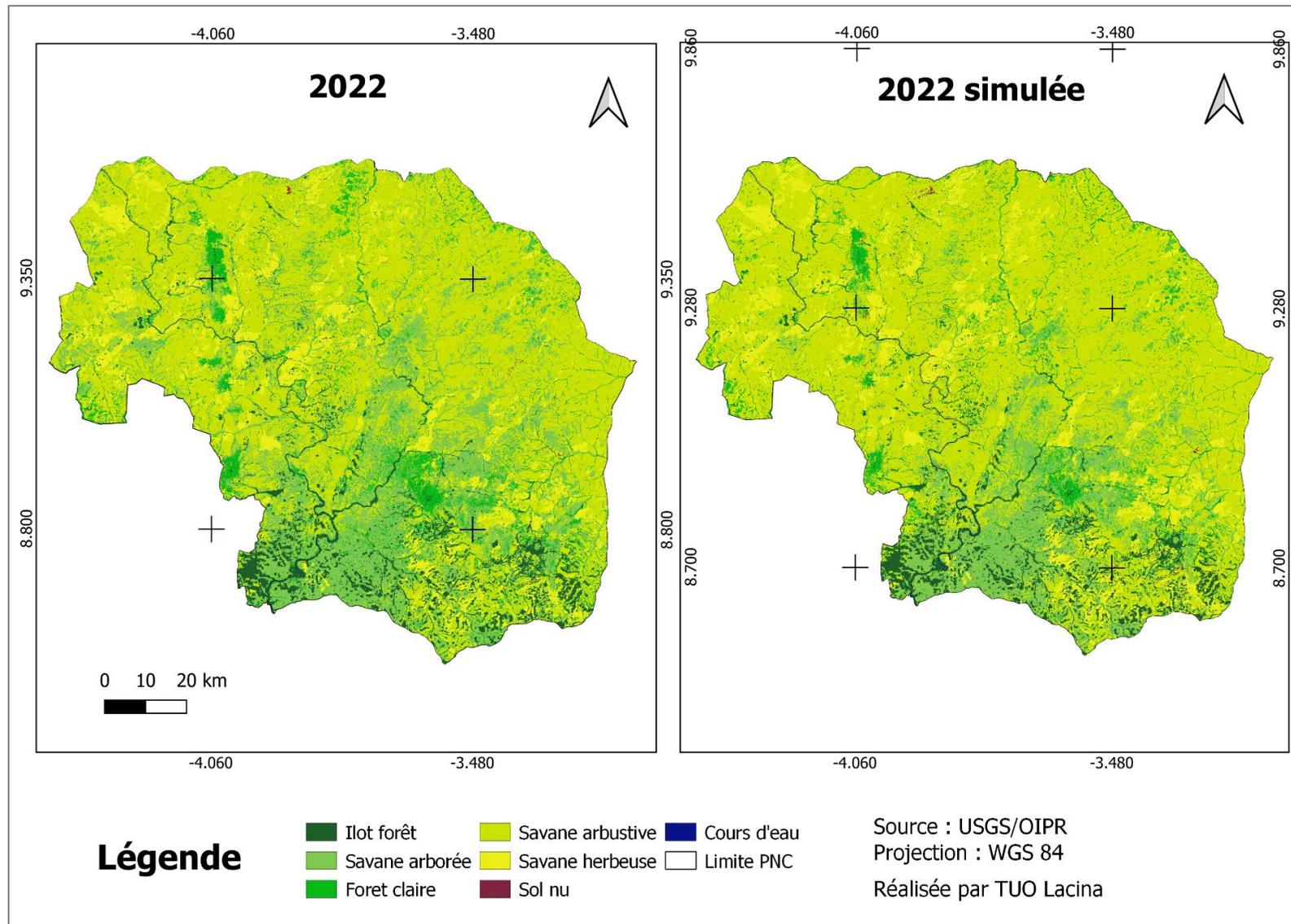


Figure 14 : Cartes d'occupation du sol actuelle et simulée de 2022

4.1.4.2 Simulation de l'occupation à l'horizon 2035 et 2050

Les probabilités de transition des unités d'occupation du sol déduites à partir des cartes de 1988 et 2005 ont permis d'obtenir l'état probable des unités d'occupation du sol aux horizons 2035 et 2050. A l'issue de la modélisation, l'analyse des tendances d'évolution a permis de mieux cerner les spécificités des différentes unités d'occupation du sol du PNC sur les 25 années à venir. La figure 15 présente les cartes d'occupation des deux périodes simulées.

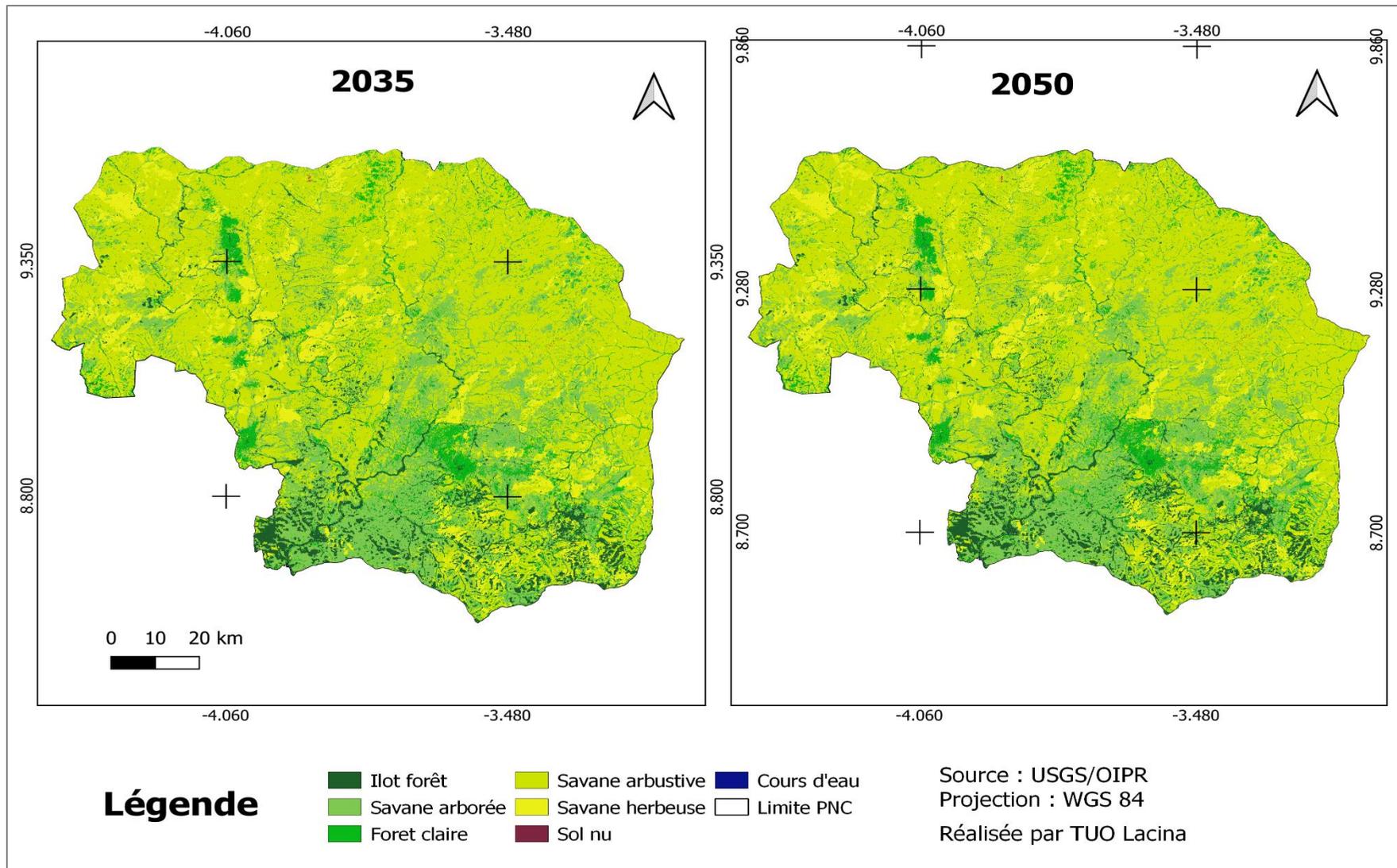


Figure 15 : Carte d'occupation du sol en 2035 et 2050

Le tableau 11 ci-dessous présente les proportions des unités d'occupation du sol actuelles et celles des horizons 2035 et 2050.

Tableau 11 : Proportions d'occupation du sol actuelles et simulées

Type d'occupation	2022		2035		2050	
	Superficie (ha)	P %	Superficie (ha)	P %	Superficie (ha)	P %
Forêt Galerie	61323,84	5,34	65372,94	5,69	69232,32	6,03
Savane arborée	271324,53	23,63	263453,22	22,95	259618,95	22,61
Forêt Claire	91107,99	7,94	94844,34	8,26	94755,69	8,25
Savane arbustive	606643,47	52,84	608703,75	53,02	608795,28	53,02
Savane herbeuse	114597,27	9,98	113852,97	9,92	113825,52	9,91
Sol nu	1553,49	0,14	851,67	0,07	851,13	0,07
Cours d'eau	1590,03	0,14	1061,73	0,09	1061,73	0,09

L'analyse du tableau 12 montre une légère évolution de l'occupation du sol actuelle à l'horizon 2035 puis 2050. Cette dynamique présente une physionomie du territoire fortement dominée par les savanes de type arbustive. Plus spécifiquement, entre 2022 et 2035 on notera un gain de surface au niveau des formations forestières (Ilot forêt et forêt claire) allant jusqu'à 13,95% suivi des savanes arbustives allant à 53,02%. Il est aussi important de signaler la régression de la superficie des savanes arborées, des savanes herbeuses, des Sols nus et des plans d'eau.

Tableau 12 : Evolution de la dynamique de l'occupation du sol entre 2022 et 2035

Type d'occupation	Proportion 2022 (ha)	Proportion 2035 (ha)	Différence (ha)	Proportion 2022 (%)	Proportion 2035 (%)	Kv %	Tc %
Îlot de forêt	61323,66	65372,74	4049,08	5,34	5,69	0,35	6,60
Savane arborée	271324,53	263453,22	-7871,31	23,63	22,95	-0,69	-2,90
Forêt Claire	91107,9	94844,34	3736,44	7,94	8,26	0,33	4,10
Savane arbustive	606643,47	608703,75	2060,28	52,84	53,02	0,18	0,34
Savane herbeuse	114597,27	113852,9	-744,37	9,98	9,92	-0,06	-0,65
Sol nu	1553,49	851,67	-701,82	0,14	0,07	-0,06	-45,18
Cours d'eau	1590,03	1061,73	-528,3	0,14	0,09	-0,05	-33,23

Entre 2035 et 2050 Les différentes unités d'occupation du sol connaîtront dans leur ensemble, une évolution progressive (Ilot forêt et savane arbustive), régressive (forêt claire, savane arborée, savane herbeuse et sol nu) et stable au niveau des plans d'eau.

Tableau 13 : Evolution de la dynamique de l'occupation du sol entre 2035 et 2050

Type d'occupation	Proportion 2035 (ha)	Proportion 2050 (ha)	Différence (ha)	Proportion 2035 (%)	Proportion 2050 (%)	Kv %	Tc %
Forêt Galerie	65372,74	69232,32	3859,58	5,69	6,03	0,34	5 ,90
Savane arborée	263453,22	259618,75	-3834,47	22,95	22,61	-0,33	-1,46
Forêt Claire	94844,34	94755,69	-88,65	8,26	8,25	-0,01	-0,09
Savane arbustive	608703,75	608795,21	91,46	53,02	53,02	0,01	0,02
Savane herbeuse	113852,9	113825,52	-27,38	9,92	9,91	0,00	-0,02
Sol nu	851,67	851,13	-0,54	0,07	0,07	0,00	-0,06
Cours d'eau	1061,73	1061,73	0	0,09	0,09	0,00	0,00

4.1.4.3 Evolution de l'occupation du sol de 2022 à 2050

L'analyse visuelle du résultat de ces simulations indique que le Parc continuera sa reconstitution du couvert végétal. Les sols nus connaîtront une forte décroissance pour faire place à la végétation comme l'indique la figure 16. Les formations forestières continuent leur processus de croissance et d'expansion dans le Parc.

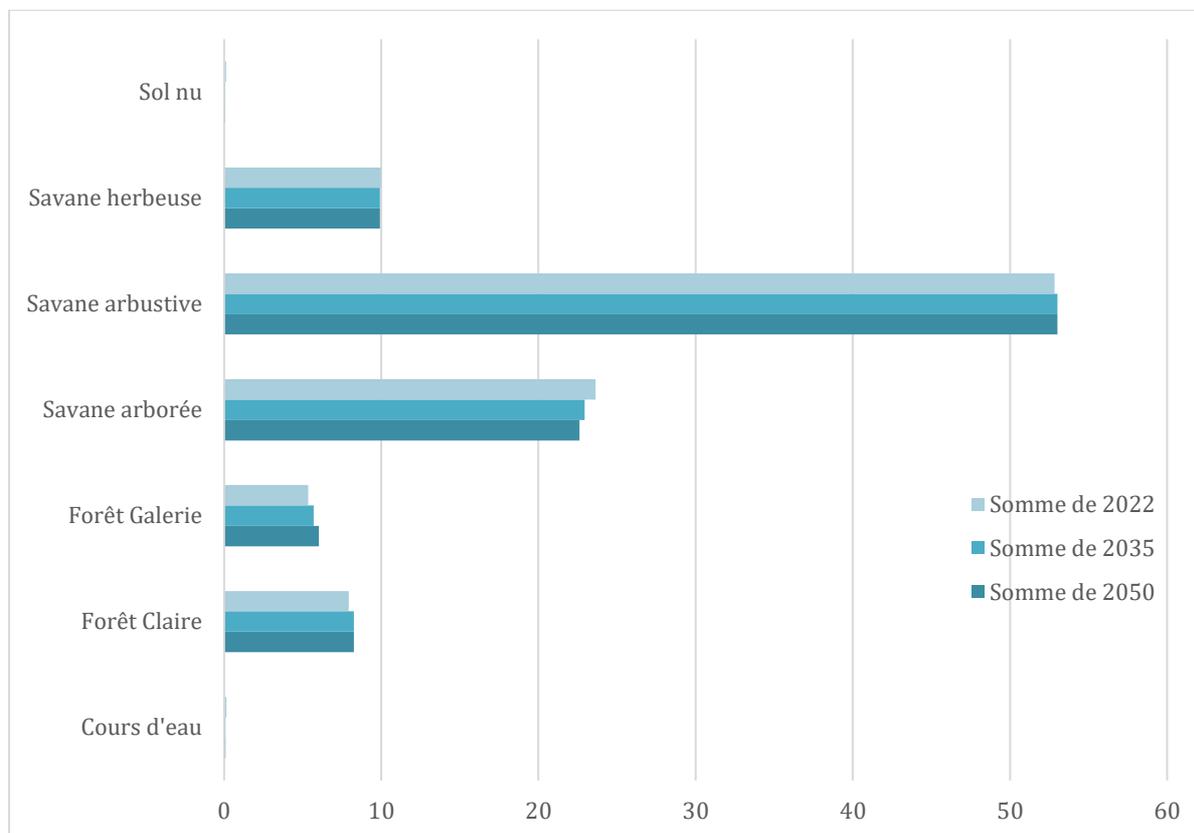


Figure 16 : Evolution prévisionnelle de l'occupation du sol entre 2022 et 2050

4.2 Discussion

4.2.1 Cartographie de l'occupation du sol

La comparaison des images Landsat TM de 1988, ETM+, de 2005 et OLI-TIRS de 2022, toutes de 30 m de résolution, nous a permis de quantifier les changements de l'occupation du sol du PNC sur une période approximative de 35 ans. Les précisions statistiques globales résultant de la classification des images ont donné des valeurs acceptables, variant entre 94% et 95%. Ces valeurs sont supérieures aux valeurs seuils de la précision globale de la classification des cartes thématiques, fixées entre 80-85% (Treitz and Rogan, 2004). Selon l'échelle de Jansen et al. (2008), les valeurs de l'indice de kappa obtenues dans cette étude, qui se situent entre 0,90 et 0,92, témoignent de l'exactitude et de la fiabilité statistiques des classes thématiques retenues. La matrice de confusion générée en utilisant l'algorithme du « maximum de vraisemblance », montre globalement qu'il n'y a pas eu de confusion entre les différentes classes. Cela serait dû, d'une part, à la qualité des images téléchargées, et, d'autre part, au choix des classes thématiques et des Parcelles d'entraînement (Inoussa et al., 2011 ; Soulama et al., 2015). En effet, les images du début de saison sèche ont été choisies pour permettre une discrimination complète entre les types d'occupation. Le choix des Parcelles d'entraînement reste déterminant pour une meilleure distinction des classes thématiques, car

seule la connaissance des réalités du terrain peut atténuer le degré de confusion entre les signatures spectrales (Foody,2010).

La cartographie de l'occupation du sol du PNC a permis de distinguer cinq catégories de formations végétales : à savoir les îlots forestiers, les forêts claires, les savanes arborées, les savanes arbustives et les savanes herbeuses. Ces différents types de végétation, tels que définis par la nomenclature de BNETD (2016), sont visibles et bien reconnaissables sur le terrain au Parc national de la Comoé. Il est bien admis que la définition de classes d'occupation du sol lors de la classification des images a un impact sur les proportions de ces classes dans le paysage (Mama et al., 2013). Il existe une différence de catégories de formations végétales d'une étude de végétation à une autre au PNC. Certaines études réalisées sur l'occupation de sol du PNC ont permis de distinguer cinq catégories de formations végétales (Kouassi et al., 2014 ; Gauze-Touao, 2015 ; Schweter, 2016). D'autres par contre ont distingué six catégories de formations végétales (Rotl et al., 1979 ; Poilecot, 1989 in Lauginie 2007). Ces différences de catégorie d'occupation du sol n'ont jamais été l'objet d'une discussion inclusive et d'une clarification terminologique avant le choix pour la production d'une carte de végétation (Schweter, 2016). Ce fait justifie en partie les écarts de superficie liés à la présence ou à l'absence de certaines catégories de formations végétales.

Les catégories de formations végétales utilisées dans cette étude sont les mêmes que celles de l'étude Konan (2022). Les résultats sont presque similaires sont restés presque similaires. Grâce aux outils de télédétection et du SIG, elle a montré que d'une superficie de 121 605,67 ha (10,58% du PNC) en 1988 les formations forestières ont augmenté pour atteindre une superficie de 178730,45 ha environ 15,55% de la superficie totale du PNC en 2018, le PNC a connu une extension spatiale de sa forêt en pratiquement 30 ans.

La composition floristique de la végétation du PNC reste très proche de la végétation généralement décrite pour la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire et en Afrique de l'Ouest au niveau des espèces et des familles. En effet, les investigations ont montré la prédominance des Fabaceae et des Poaceae sur les Rubiaceae, les Cyperaceae, les compositae et les Combretaceae, caractérisant la végétation soudanienne (Adjanohoun et Aké Assi, 1967 ; Guillaumet et Adjanohoun, 1971 ; White, 1986).

De plus, les images satellites révèlent une bande de savanes arborées et forêts claires à l'intérieur de la limite du parc au nord-est, qui semble être le résultat d'une faible pression des feux. D'autres observations sur le terrain confirment la dynamique de la savane arbustive en cas d'absence de pression de feux. C'est le cas d'une partie de savane arbustive au sud du parc qui n'a pas été soumis au feu pendant deux saisons sèches consécutives, selon les gestionnaires. Ces sites montrent une régénération importante des plantes ligneuses au détriment du couvert herbacé. Ce même constat a été fait par Schweter (2016) qui a montré une augmentation relative de la savane arborée au détriment de la savane arbustive, lors de sa classification des images de 2004. Ces observations ont également été faites par Soulama

et al. (2015) dans la réserve partielle de faune de Pama au Burkina Faso. Ces auteurs ont montré que la végétation du Pama connaît une amélioration du couvert végétal dominée par les recrûs forestiers.

La dynamique des changements intervenus dans le paysage du PNC révèle plus d'une végétalisation au détriment de sa dégradation au cours des trente-quatre années (1988 à 2022) d'étude. Cette évolution pourrait s'expliquer par l'absence d'un plan de feux de gestion contrôlés dans les savanes du parc. L'objectif de ces mises à feu dans la savane est d'empêcher sa transformation en forêt au fil des années. Selon Aubréville (1953), la dynamique de la végétation des savanes est fonction des régimes de feux pratiqués. Ses résultats ont révélé une reconversion des savanes protégées des feux en formation forestière. Selon Soro et al. (2020), en absence de feux appropriés, les formations savaniques ont tendance à être remplacées par d'autres peuplements d'arbre plus denses.

4.2.2 Simulation de l'état d'occupation du sol dans le PNC

Les modélisations spatiales à l'échelle locale constituent un outil puissant d'aide à la décision pour les gestionnaires des aires protégées, plus particulièrement le Parc national de la Comoé. La couverture forestière prédite par le modèle, montre une tendance de reforestation de l'aire protégée accentuée dans le sud de celui-ci. En comparant les résultats simulés et les résultats obtenus sur le terrain (réel), il apparaît qu'ils sont assez similaires. La validation de la comparaison entre observé et les sorties de prédictions semble montrer que le modèle est acceptable pour représenter la réalité de manière satisfaisante. En effet, les indices de Kappa Kappa (loc) et Kappa (overall) respectivement 0,86450 et 0,73038 de la carte d'occupation du sol simulée de l'année 2022 sont tous supérieurs 0,50. Ce qui traduit selon Pontius (2000) un bon accord entre le « réel » et la carte simulée ; les résultats sont bons et exploitables. Ainsi, les résultats des changements montrent que les classes forêt diminuent légèrement en superficie entre l'occupation du sol observée sur le terrain (l'actuelle) et l'occupation du sol prédite obtenu par le modèle contrairement aux classes savanes.

De façon globale, les prédictions pour 2035 et 2050 révèlent que la dynamique du territoire connaîtra une diminution de ses surfaces savaniques de 86,45% (occupation actuelle) à 85,55% en 2050 au profit des surfaces forestières qui augmenteront de 13,28 % (l'occupation actuelle) à 14,28% en 2050. Une augmentation progressive et lente de la couverture forestière est observée par les prédictions. De plus, les tendances d'évolution des types d'occupation des prédictions sont proches de celles observées entre 1988 et 2022 de notre étude et de l'étude réalisée par (Konan, 2022) entre 1988 et 2018. Cette tendance évolutive pourrait s'expliquer par les efforts croissant des gestionnaires et des bailleurs dans la lutte contre les activités illicites dans le Parc, mais aussi d'une absence d'un plan de mise à feu des feux de gestion des savanes dans l'aire.

Cependant, si les tendances évolutives constatées sont maintenues, il est attendu une conversion des savanes au profit des forêts. Ainsi, l'implication suivante est à envisager : Les différents types de formations végétales ne pourront pas assurer pleinement leurs fonctions de conservation et de protection des écosystèmes et du patrimoine biogénétique (FAO, 2001)

4.2.3 Intérêt pour la conservation

Le Parc national de la Comoé (PNC) abrite l'une des plus vastes zones savanicoles d'Afrique de l'Ouest. En son sein coexistent des écosystèmes forestiers et savanicoles avec une importante diversité d'espèces végétales et animales qui ont justifié son inscription comme Réserve de Biosphère depuis 1982 et Patrimoine Mondial de l'Unesco depuis 1983. Cela sous-entend qu'il abrite un ensemble d'attributs naturels présentant un intérêt exceptionnel pour l'héritage commun de l'humanité et représente une région modèle conciliant la conservation de la biodiversité et le développement durable. Plusieurs formations offrent l'opportunité d'observer l'évolution des phénomènes écologiques et une beauté exceptionnelle.

La flore du PNC est composée de 16,43 %, de taxons dont l'aire de répartition est limitée aux blocs forestiers ouest-africains et congolais. De même, elle est composée de 2,38 % de taxons soit 14 espèces dont l'aire de répartition s'étend seulement de l'Ouest du Togo au sud du Sénégal, aire souvent appelée Haute Guinée. On peut citer par exemple *Anthocleista nobilis*, *Cola caricaefolia*, *Combretum adenogonium*, *Elymandra subulata*, *Tetracera affinis*, *Triclisia patens*, *Diospyros cooperi*, ou *Manotes expansa*.

Parmi ces espèces ouest-africaines, on note la présence d'une espèce (soit 0,18 %) de la flore du PNC jusque-là, connue seulement à l'intérieur des limites territoriales de la Côte d'Ivoire. Il s'agit de *Chytranthus verecundus*. Ces espèces sont certes abondantes et résilientes dans les formations forestières de Côte d'Ivoire, mais elles confèrent toujours une importance en termes de conservation aux formations où elles croissent et se développent sans pression.

Le PNC abrite six espèces menacées et une proche de la menace suivant les critères de l'UICN (Tableau 14).

Tableau 14 : Espèce à statut particulier de la flore du Parc national de la Comoé selon l'UICN (2021)

Familles	Espèces	Status UICN (2020)
Fabaceae	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	En danger A3d
Fabaceae	<i>Afzelia africana</i>	Vulnérable A1d
Fabaceae	<i>Albizia ferruginea</i>	Vulnérable A1cd

Malvaceae	<i>Pterygota macrocarpa</i>	Vulnérable A1cd
Sapotaceae	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Vulnérable A1cd
Malvaceae	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	Quasi menacé (NT)
Areaceae	<i>Raphia sudanica</i>	Quasi menacé (NT)

5 Conclusion et recommandations

L'utilisation des images de la génération Landsat TM, ETM+ et OLI et des SIG a permis d'élaborer les cartes d'occupation du sol par la méthode de classification supervisée des images satellite, d'analyser l'évolution des unités d'occupation du sol et de quantifier le changement entre 1988, 2005 et 2022 dans le Parc national de la Comoé. Sur toute la période d'étude de 1988 à 2022 on observe une régression des superficies des classes savanes et une progression des superficies des classes forêts.

La simulation de l'occupation du sol par Molusce a permis de prédire l'occupation du sol pour les années 2035 et 2050 avec une précision de 84 %. Elle a montré que les tendances actuelles de décroissance des surfaces de savanes et d'expansion des forêts se poursuivront à l'avenir.

Sur la base des résultats de cette étude, des recommandations méritent d'être faites à l'endroit des gestionnaires, décideurs, bailleurs et organisations non gouvernementales (ONG) dans l'optique de conserver durablement les écosystèmes naturels du Parc national de la Comoé. En effet, ils doivent :

- effectuer une évaluation et une surveillance périodiques de l'occupation du Parc à petite échelle (par quadra) avec l'utilisation d'images satellitaires de très haute résolution spatiale comme Spot et Quickbird ;
- mettre en place et respecter un plan de mise à feu des feux de gestion des espaces de savanes afin de ralentir la conversion de ceux-ci en formation forestière et d'éviter de perdre le patrimoine biogénétique originel de l'aire protégée ;
- mettre en place un suivi régulier de la biodiversité pour évaluer les tendances des populations d'espèces et les effets des mesures de conservation ;
- mener des études d'impact dans un contexte spécifique pour une meilleure compréhension des facteurs fondamentaux de conversion des unités d'occupation du sol, les conséquences liées à ces changements et les manières dont les gestionnaires traitent ces risques ou s'y adaptent ;
- collaborer avec des organisations de conservation internationales et d'autres parcs nationaux pour partager des pratiques exemplaires et des ressources en matière de conservation des habitats.

6 Reference

Adjanohoun, E., & Assi, L. A. (1967). *Inventaire floristique des forêts claires subsoudanaises et soudanaises en Côte d'Ivoire septentrionale*. Université d'Abidjan.

Aké Assi, L. (1931-2014) A. (2001). *Flore de la Côte-d'Ivoire : Catalogue systématique, biogéographie et écologie*. Conservatoire et Jardin Botaniques de Genève. Genève.

Avenard, J.-M., Eldin, M., Girard, G., Sircoulon, J., Touchebeuf, P., Guillaumet, J.-L., & Adjanohoun, E. (1971). *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*.

Belem, M., Zoungrana, M., & Nabaloum, M. (2019). Les effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la forêt classée de Toéssin, Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(5), 2186. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.20>

BNETD. (2016). *Analyse qualitative des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts en Côte d'Ivoire*.

Carine, N. M. A., Marc, Y. T., Mathunaise, S. V., Vincent, A. T., & Germain, M. (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. *International Journal of Engineering Science Invention*. <https://doi.org/10.35629/6734-1004033445>

Corgne, S. (2004). Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : Application à la couverture hivernale des sols en Bretagne. *Université de Rennes 2 – Haute-Bretagne*.

Cyrille-Joseph, A. A., Blaise, K., Ouattara, S., & Yao Roger, K. (2020). Abondance et distribution des buffles *Syncerus caffer* (Sparrman, 1779) dans le Parc National de la Comoé, Nord-Est de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 45(3), 8024-8037. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v45-3.6>

Dezetter, A., Paturel, J.-E., Ruelland, D., Ardoin-Bardin, S., Ferry, L., Mahe, G., Dieulin, C., & Servat, E. (2010). *Prise en compte des variabilités spatio-temporelles de la pluie et de l'occupation du sol dans la modélisation semi-spatialisée des ressources en eau du haut fleuve Niger*.

Ganame, M. (2021). *Dynamique spatio-temporelle et potentiel du stock de carbone aérien des écosystèmes forestiers du Burkina Faso* [Thèse]. Université Joseph KI-ZERBO.

Ganamé, M., Bayen, P., Lankoandé, B., Balma, E. N., & Thiombiano, A. (2022). Spatio-temporal dynamics of land use and land cover change in the commune of Dori, Burkina Faso. *Journal of Aridland Agriculture*, 1-7. <https://doi.org/doi:10.25081/jaa.2022.v8.7248>

Geoffroy, M. (2017, décembre 20). *Les aires protégées sont les fondements de notre avenir*. ID4D. <https://ideas4development.org/les-aires-protegees-les-fondements-notre-avenir/>

GIEC. (2014). *Rapport de synthèse : changements climatiques 2014* [rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat].

Giraut, F., Guyot, S., & Houssay-Holzschuch, M. (2004). Les aires protégées dans les recompositions territoriales africaines. *L'information géographique*, 68(4), 340-368. <https://doi.org/10.3406/ingeo.2004.2967>

IUCN World Heritage Outlook. (2020). *Parc national de la Comoé—2020 Conservation Outlook Assessment*. <https://worldheritageoutlook.iucn.org/>

Kapiri, M. M., Mahamba, J. A., Mulondi, G. K., & Sahani, W. M. (2023). Assessment of Land Use and Land Cover Changes (LULC) in the North Talihya River Watershed (Lubero Territory, Eastern DR Congo). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 11(01), 189-210. <https://doi.org/10.4236/gep.2023.111013>

Konan, A. S. (2022). *Flore et végétation du Parc national de la Comoé (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) : Dynamique et Structure*. Université Nangui Abrogoua.

Konan-Waidhet, A. B., Kouassi, K. H., & Kanga, K. E. (2022). Land Use Dynamics in the Department of Séguéla, Northwestern Côte D'Ivoire. *Advances in Remote Sensing*, 11(03), 63-79. <https://doi.org/10.4236/ars.2022.113005>

Kouassi, A. M., Kouamé, K. F., Ahoussi, K. E., & Oularé, S. (2012). *Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du n'zi-bandama (côte d'ivoire)*.

Kouassi, J.-L. (2019). *Variabilité climatique, dynamique des feux de végétation et perceptions locales dans le bassin versant du N'Zi (Centre de la Côte d'Ivoire)* [Phdthesis, Institut National Polytechnique Felix Houphoët Boigny - Yamoussoukro]. <https://theses.hal.science/tel-02183044>

Kouassi, K. J.-L. (2014). *Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques : cas de la direction régionale des eaux et forêts de Yamoussoukro (Côte d'ivoire)*. INP-HB.

Lauginie, F. (2007). *Conservation de la nature et aires protégées en Côte d'Ivoire*. CEDA/NEI.

Maestriperi, N. (2012). *Dynamiques spatio-temporelles des plantations forestières industrielles dans le sud chilien. De l'analyse diachronique à la modélisation prospective*. [Thèse]. Université de Toulouse.

Mamane, B., Amadou, G., Barage, M., Comby, J., & Ambouta, J. M. K. (2018). Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de variabilité climatique (Ouest du Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(4), 1667. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.13>

- Mas, J.-F., Kolb, M., Houet, T., Paegelow, M., & Camacho Olmeda, M. T. (2011). éclairer le choix des outils de simulation des changements des modes d'occupation et d'usages des sols. Une approche comparative. *Revue internationale de géomatique*, 21(3), 405-430. <https://doi.org/10.3166/rig.15.405-430>
- Mengue-Medou, C. (2002). Les aires protégées en Afrique : Perspectives pour leur conservation. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 3 Numéro 1, Article Volume 3 Numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.4126>
- Minkilabe, D. (2021). *Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans les carrières de phosphates au sud-est du Togo*.
- N'guessan, K. E. (2009). *Projet d'élaboration d'une base de données numériques sur la flore et la végétation du parc national de la Comoé, au nord-est de la Côte d'Ivoire*. Centre National de Floristique Université de Cocody-Abidjan Côte d'Ivoire (CNF).
- OIPR. (2015). *Plan d'aménagement et de gestion du parc national de la Comoé*. Office ivoirien des parcs et réserves.
- Poilecot, P. (1989). *Ecologie des savanes soudano-guinéennes : Interactions faune-flore dans le Parc National à la Comoé (Côte d'Ivoire) (Côte d'Ivoire)* [Thesis, Université Pierre et Marie Curie]. <https://agritrop.cirad.fr/597097/>
- Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 08(04), 611-622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>
- Tankoano, B., Hien, M., Dibi, N. H., Sanon, Z., Yameogo, J. T., & Somda, I. (2015). Dynamique spatio-temporelle des savanes boisées de la forêt classée de Tiogo au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(4). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.23>
- Wangari, E. (2014). Les aires protégées d'Afrique au 21e siècle. In A. Fournier, G. A. Mensah, & B. Sinsin (Éds.), *Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest ? : Conservation de la biodiversité et développement* (p. 24-25). IRD Éditions. <http://books.openedition.org/irdeditions/8007>
- Diara, S., Ba, T., & Guisse, A. (2019). Cartographie des changements de la couverture végétale dans les aires protégées du Ferlo (Nord Sénégal) : cas de la réserve de biosphère.

7 Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique du Parc national de la Comoé.....	5
Figure 2 : Climatogramme du PNC de 1988 à 2021	6
Figure 3 : Carte hydrographique du Parc national de la Comoé.....	7
Figure 4 : Carte du relief du Parc national de la Comoé (OIPR, 2015)	8
Figure 5 : Carte d'occupation du sol du Parc national de la Comoé basée sur les images Spot (Schweter, 2016)	9
Figure 6 : Le modèle numérique de terrain du PNC.....	10
Figure 7 : Composition colorée des images de la zone d'étude	12
Figure 8 : Interface de simulation avec Molusce	15
Figure 9 : Carte d'occupation du sol en 1988 du Parc national Comoé.....	17
Figure 10 : Carte d'occupation du sol en 2005 du PNC.....	18
Figure 11 : Carte d'occupation du sol en 2022 du PNC.....	19
Figure 12 : Familles de la flore du Parc national de la Comoé (Konan, 2022).	24
Figure 13 : L'évaluation de la simulation des indices kappa.....	26
Figure 14 : Cartes d'occupation du sol actuelle et simulée de 2022	27
Figure 15 : Carte d'occupation du sol en 2035 et 2050	29
Figure 16 : Evolution prévisionnelle de l'occupation du sol entre 2022 et 2050	32

8 Liste des tableaux

Tableau 1 : Données d'images satellitaire	11
Tableau 2 : Tableau des proportions des types d'occupation du sol en 1988, 2005 et 2022 .	19
Tableau 3 : Matrice de confusion 1988.....	20
Tableau 4 : Matrice de confusion 2005.....	20
Tableau 5 : Matrice de confusion 2022.....	21
Tableau 6 : Evolution des types d'occupation du sol en 1988 et 2005.....	22
Tableau 7 : Evolution des types d'occupation sol entre 2005 et 2022	22
Tableau 8 : Evolution de la dynamique de l'occupation du sol entre 1988 et 2022.....	23
Tableau 9 : Matrice de transition des unités d'occupation du sol entre 1988 et 2005	25
Tableau 10 : Proportions actuelles et simulées de l'occupation du sol en 2022	25
Tableau 11 : Proportions d'occupation du sol actuelles et simulées.....	30
Tableau 12 : Evolution de la dynamique de l'occupation du sol entre 2022 et 2035.....	30
Tableau 13 : Evolution de la dynamique de l'occupation du sol entre 2035 et 2050.....	31
Tableau 14 : Espèce à statut particulier de la flore du Parc national de la Comoé selon l'UICN (2021)	35

9 Annexe

Matrices de transition de l'occupation du sol

Type d'occupation	2005							
	Forêt Galerie	Savane arborée	Forêt Claire	Savane arbustive	Savane herbeuse	Sol nu	Cours d'eau	
Forêt Galerie	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	
Savane arborée	0,0	0,1	0,1	0,5	0,3	0,0	0,0	
Forêt Claire	0,0	0,1	0,1	0,7	0,1	0,0	0,0	
1988 Savane arbustive	0,0	0,1	0,1	0,5	0,3	0,0	0,0	
Savane herbeuse	0,0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,0	0,0	
Sol nu	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	0,0	
Cours d'eau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	

Type d'occupation	2022							
	Forêt Galerie	Savane arborée	Forêt Claire	Savane arbustive	Savane herbeuse	Sol nu	Cours d'eau	
Forêt Galerie	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
Savane arborée	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	
Forêt Claire	0,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	
2005 Savane arbustive	0,0	0,3	0,1	0,6	0,1	0,0	0,0	
Savane herbeuse	0,0	0,1	0,0	0,7	0,1	0,0	0,0	
Sol nu	0,0	0,1	0,1	0,7	0,1	0,0	0,0	
Cours d'eau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	

Type d'occupation	2022							
	Forêt Galerie	Savane arborée	Forêt Claire	Savane arbustive	Savane herbeuse	Sol nu	Cours d'eau	
Forêt Galerie	0,7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	
Savane arborée	0,0	0,2	0,1	0,6	0,1	0,0	0,0	
Forêt Claire	0,0	0,4	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	
1988 Savane arbustive	0,0	0,2	0,1	0,6	0,1	0,0	0,0	
Savane herbeuse	0,0	0,3	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0	
Sol nu	0,0	0,2	0,1	0,4	0,0	0,3	0,0	
Cours d'eau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	

Quelques images des relevés de la phase de vérité terrain



Ilots forêts



Forêts claires



Savanes arborées



Savanes arbustives



Savanes herbeuses



Sols nus/rochers découverts