

Analyse de la dynamique spatio-temporelle et caractérisation de la couverture végétale dans la réserve naturelle de Popenguine (Thiès, Sénégal)

Christine Valentine Noella Sagna

Adjoint Conservateur, Parc National de la Langue de Barbarie

Landing Ndiaye

Khémès Marie Odile Thiocone

Charahabil Mohamed Mahamoud

Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE)

Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ), Ziguinchor, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n15p152](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n15p152)

Submitted: 05 March 2026

Accepted: 26 May 2026

Published: 31 May 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Sagna, C.V.N., Ndiaye, L., Thiocone, K.M.O. & Charahabil, M.M. (2026). *Analyse de la dynamique spatio-temporelle et caractérisation de la couverture végétale dans la réserve naturelle de Popenguine (Thiès, Sénégal)*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (15), 152. <https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n15p152>

Résumé

La Réserve Naturelle de Popenguine (RNP) au Sénégal est connue pour sa particularité d'être pionnière en matière de cogestion dans la conservation de la biodiversité. Cependant, après plus de trente ans de fonctionnement, il reste difficile de disposer de données permettant d'évaluer objectivement les résultats de cette cogestion. Ce travail vise à évaluer la dynamique spatio-temporelle et la composition floristique de l'écosystème. L'analyse des données de la flore obtenue par inventaire itinérant sur des mailles de 250 m de côté est basée sur la diversité, le spectre biologique et chorologique. Celle de la dynamique spatio-temporelle de la couverture végétale est basée sur la classification des images satellitaires Landsat de 1987 à 2022. Un total de 96 espèces réparties en 79 genres et 30 familles ont été recensées. La strate herbacée est plus diversifiée (64 espèces dont 44 sont annuelles et 20 vivaces). L'analyse du spectre biologique montre une dominance des Thérophytes (54 %) suivie des Phanérophytes (27 %). Le spectre chorologique révèle une dominance des espèces africaines, pantropicales et afro-asiatiques qui occupent plus de 70 % des espèces du

milieu. La dynamique de la végétation a montré des fluctuations au fil du temps. Les superficies occupées par la végétation sont passées de 340,09 ha en 1987 à 587,26 ha en 2013, soit une augmentation de 72,68%. En 2022, une régression significative (50,38 %) est observée ramenant la couverture végétale à 291,37 ha. Ces résultats constituent un référentiel solide permettant aux décideurs d'évaluer les potentialités de la réserve pour la conservation de la biodiversité et de mieux orienter les plans d'aménagement et de gestion futurs.

Mots-clés: Couverture végétale, inventaire, dynamique, télédétection, réserve naturelle, Sénégal

Analysis of the Spatio-Temporal Dynamics and Characterization of the Vegetation Cover in the Popenguine Nature Reserve (Thiès, Senegal)

Christine Valentine Noella Sagna

Adjoint Conservateur, Parc National de la Langue de Barbarie

Landing Ndiaye

Khémès Marie Odile Thiocone

Charahabil Mohamed Mahamoud

Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE)

Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ), Ziguinchor, Sénégal

Abstract

The Popenguine Nature Reserve (PNR) in Senegal is known for its uniqueness in being a pioneer in co-management for biodiversity conservation. Nevertheless, after more than thirty years of operation, it remains difficult to obtain data that would allow for an objective evaluation of the results. This work aims to evaluate the spatio-temporal dynamics and floristic composition of the ecosystem. The analysis of the flora data obtained through itinerant inventory on grids of 250 m per side is based on diversity, biological spectrum, and chorological spectrum. The spatio-temporal dynamics of vegetation cover are based on the classification of Landsat satellite images from 1987 to 2022. A total of 96 species distributed across 79 genera and 30 families were recorded. The herbaceous layer is more diverse (64 species, of which 44 are annuals and 20 are perennials). The analysis of the biological spectrum shows a dominance of Therophytes (54%) followed by Phanerophytes (27%). The chorological spectrum reveals a dominance of African, pantropical, and Afro-Asiatic species, which occupy more than 70%

of the species in the area. The dynamics of the vegetation have shown fluctuations over time. The areas occupied by vegetation increased from 340.09 ha in 1987 to 587.26 ha in 2013, representing a 72.68% increase. In 2022, a significant regression (50.38%) was observed, bringing the vegetation cover down to 291.37 ha. These results provide a solid reference for decision-makers to assess the reserve's potential for biodiversity conservation and to better guide future development plans.

Keywords: Vegetation cover, inventory, dynamics, remote sensing, nature reserve, Senegal

Introduction

Le Sénégal, à l'instar de la plupart des pays de l'Afrique francophone, a hérité d'importantes zones de conservation *in situ* de la biodiversité (Dailly, 2012). Les épisodes de sécheresse erratique qui sévissent depuis quelques décennies ont largement décimé les ressources biologiques et la biodiversité. En effet, les sécheresses répétées dans les années 70 et 80, notamment en Afrique Sahélienne, ont eu des conséquences graves sur les écosystèmes (Diop et al., 2019 ; Diop, 2009 ; Bellefontaine et al., 1997). Selon ces derniers, cette sécheresse a eu pour conséquence directs sur les systèmes forestiers, d'augmenter la mortalité, de rendre plus difficile l'installation de la régénération, de détruire le tapis graminéen très sensible à l'absence d'eau et accentuant la pression (écimage) sur les arbres survivants. Ce qui a pour conséquence la réduction de la productivité des sols. Les effets indirects de la sécheresse, combinés à la croissance de la population ont été beaucoup plus néfastes sur l'environnement. Ouattara et al. (2015) affirment que la sécheresse, conjuguée aux hostilités du climat, à la pression démographique et aux pratiques d'agriculture et d'élevage inadéquates ont entraînés par endroit au Sahel, la disparition du couvert végétal, la dégradation des terres et la perte de la biodiversité naturelle. PNUF (2002) cité par Faye (2020) souligne qu'au total, 126 espèces animales et 120 espèces végétales sont portées disparues, 2018 autres espèces animales ainsi que 1771 espèces végétales sont menacées d'extinction.

Après les indépendances, plusieurs gouvernements africains, reconnaissant l'importance de la protection de leurs ressources naturelles, ont mis en place des aires protégées sous l'impulsion de groupes environnementaux extérieurs. Au fil des décennies et suite à la reconnaissance par la communauté internationale des menaces qui pèsent sur la diversité biologique, l'importance accordée à la conservation s'est amplifiée (Dailly, 2012). Au Sénégal, la prise de conscience des préjudices que peut causer la dégradation de la biodiversité sur l'économie nationale et sur les biens et services écosystémiques que l'Homme tire de celle-ci, a poussé l'État, à

entreprendre des actions allant dans le sens de la conservation et de la bonne gestion de cette biodiversité. Pour ce fait, un important réseau d'aires protégées constitué d'échantillons représentatifs des différents biotopes caractéristiques du pays a été mis en place sur l'étendue du territoire national (BIODEV2030, 2021). Bien avant cela, des pratiques traditionnelles de conservation (forêts sacrées, totems, cimetières, etc.) étaient courantes chez les populations locales. En outre, l'existence de nombreux textes, documents et politiques nationaux et la ratification d'un nombre important de conventions internationales qui contribuent à la conservation de la biodiversité laissent entrevoir une volonté manifeste de conservation de la diversité biologique sur laquelle repose la quasi-totalité des secteurs de développement du pays (MEDD, 2014).

Cinq décennies après la création des premières aires protégées du Sénégal, la conservation reste encore un défi majeur pour la plupart de ces aires protégées. En effet, dans certaines zones, les aires protégées étaient considérées par les populations comme parties intégrantes de leurs terroirs où l'accès leur a été interdit ainsi que l'usage des ressources, dont elles continuaient à réclamer la paternité après déguerpissement (Diop, 2009). Selon ce dernier, face à ce « coup de force », certains individus de cette population, étant impuissants devant ces mesures draconiennes, passaient outre les règles en procédant au braconnage soit par nécessité absolue, soit par simple réplique (acte de sabotage) pour manifester leurs désaccords à l'égard de cette politique de répression. Le cas du Parc National du Niokolo-Koba (PNNK) en est une parfaite illustration.

Par ailleurs, pour des aires protégées à l'instar de la Réserve Naturelle de Popenguine, Diédhiou (2010) estime que la conservation a plutôt réussi, entraînant un retour de la végétation préexistante. En effet, de 1936 à 1986, cinquante années durant, l'actuelle Réserve Naturelle de Popenguine a bénéficié du statut de forêt classée. Malgré ce statut, les pressions exercées par l'être humain sur les ressources naturelles du site (coupe de bois, surpâturage, feux de brousse, etc.), combinées aux facteurs d'ordre naturel (sécheresse, hostilité climatique, etc.) ont fini par dégradé le site. DIOP (2009) souligne qu'au moment de la création de la réserve en 1986, le site était très dégradé, le biotope essentiellement constitué de collines était entièrement dénudé ; l'exposant ainsi aux érosions pluviales et éoliennes. La productivité naturelle du site, notamment la biomasse végétale, était devenue très faible, rendant le milieu peu productif pour subvenir aux besoins en produits végétaux des populations qui l'exploitaient ou pour supporter les concentrations du cheptel domestique qui l'utilisait comme terrain de parcours.

Ainsi, suite à la création de la RNP en 1986, et sa mise en défens effective en 1987 dont l'objet est de faciliter la restauration de la couverture végétale, lutter contre les prélèvements de produits forestiers par les

populations et la divagation du bétail ; plusieurs actions de reboisement, d'aménagement d'ouvrages antiérosifs (digue, cordon pierreux), aménagement d'ouvrage de rétention d'eau, etc. ont été conçu par les gestionnaires.

Après une trentaine d'années de conservation et de restauration, la couverture végétale de la réserve a connu une grande évolution. Cependant, les données caractérisant l'évolution de la couverture végétale dans le temps et dans l'espace sont vraisemblablement quasi inexistantes.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude qui a pour objectif principal de caractériser l'état actuel de la flore ainsi que son évolution dans l'espace et dans le temps à travers des images satellitaires. De manière spécifique il s'agit de déterminer la composition floristique de la réserve ; d'élaborer les cartes d'occupation du sol et de détecter les changements d'occupation du sol.

Matériel et Méthodes

Zone d'étude

La Réserve Naturelle de Popenguine (RNP), située dans la communauté rurale de Diass, département de Mbour et région de Thiès (Diédhiou, 2010), est localisée à 50 km de la capitale Sénégalaise. Elle est limitée à l'Est et au Sud par la commune de Sindia avec les villages Kignabour 1, Kignabour 2, Thiafoura, Sorrokhassap, Guéréo ; au Nord par la commune Popenguine-Ndayane où se trouvent les villages de : Popenguine Escale, Popenguine Sérère et Ndayane et à l'Ouest par l'Océan Atlantique (DPN, 2023). La RNP a été créée en 1986 et dispose d'un statut spécial. Elle est cogérée par la Direction des Parcs Nationaux et les populations locales. La RNP, issue de la partie Sud de la forêt de Popenguine, classée depuis 1936 est sujette à la pression anthropique.

L'évolution du statut de forêt classée en Réserve Naturelle n'a été que partielle, puisque la partie Nord de la forêt classée de Popenguine n'a pas été intégrée à l'aire protégée. Néanmoins, une partie marine s'avancant sur 1/2 mille (soit environ 925 mètres) de large, a été intégrée à la Réserve (Boulud, 1998) répartissant ainsi l'aire protégée en deux parties :

- zone maritime large de 1/2 mille marins sur 2 km de longueur de plage, constituée essentiellement de milieux rocheux, servant de lieu de reproduction et de nurseries pour les poissons ;
- zone continentale de 1009 ha.

La RNP se situe en zone sahélo-soudanienne, soumise à un climat de type transition entre celui de la côte sénégalaise influencé par les alizés maritimes et le climat continental sahélo-soudanien. Son climat, chaud et sec avec une influence maritime sur le franc côtier, est caractérisé par l'alternance de deux saisons, l'une pluvieuse de juillet à octobre et l'autre sèche dure de novembre

à juin. La pluviométrie moyenne enregistrée dans cette zone est d'environ 486,60 mm entre 1987 et 2022 (Ndour, 2021). Au cours de cette période, l'année 2002 a enregistré la plus faible pluviométrie (247,79mm) et l'année 2008 la plus forte (812,02mm).

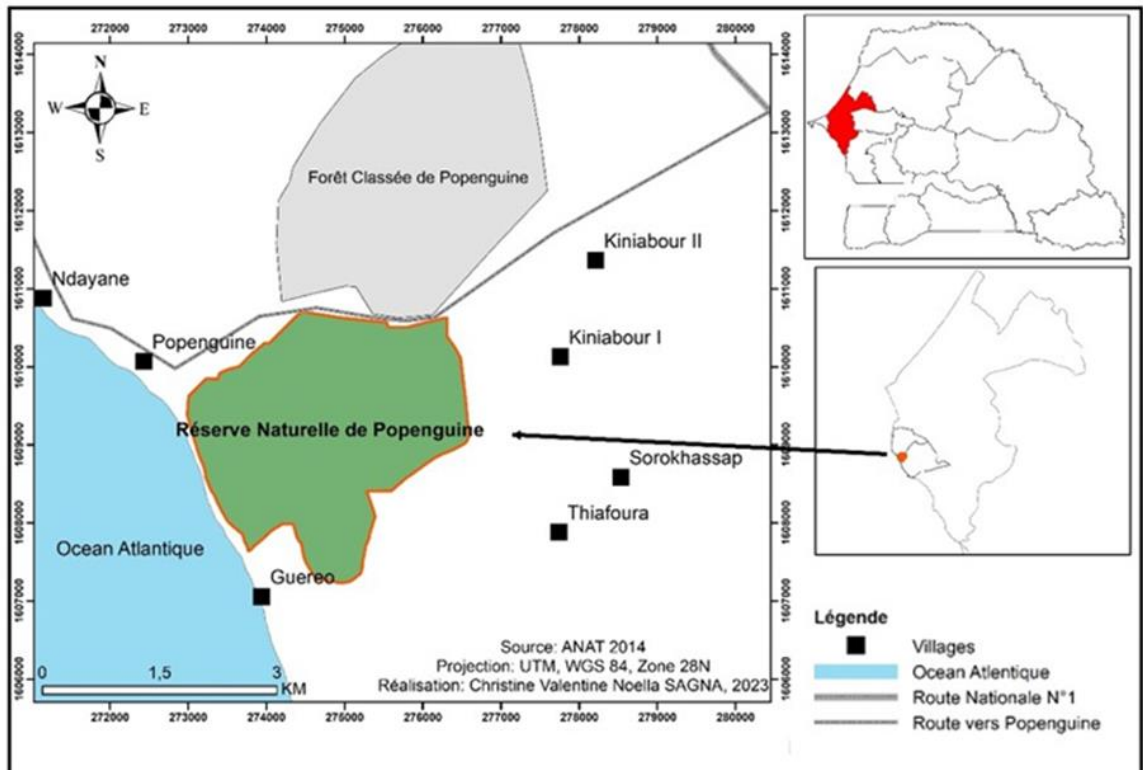


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Collecte de données Données floristiques

Les données floristiques ont été collectées à partir d'un maillage selon les unités géomorphologiques plateau, versant et bas-fond au moyen du logiciel Arc Gis. Ainsi, l'outil fishnet de Arc toolbox a été utilisé pour définir la dimension des mailles (250m sur 250m) et les coordonnées du centre de chaque maille. Un numéro a été affecté à chaque maille soit un total de 126 mailles obtenue dans la réserve. Suivant un échantillonnage stratifié, les différentes mailles d'inventaire sont distribuées dans les différentes unités géomorphologiques suivant un taux d'échantillonnage de 20 %. Avec **A**, surface du massif à inventorier, **S**, surface des mailles d'inventaire, et **N** leur nombre, le taux d'échantillonnage **T** est égal :

$$T = \frac{NS}{A}$$

A partir de cette formule, le nombre de maille N pour la RNP a été calculé en se fixant d'abord une précision de 20 % (Samb et al., 2020).

Ainsi, en tenant compte de la superficie de chaque unité géomorphologique ainsi que des limites des mailles, 32 mailles devraient être installées, soit 25 % de la superficie de la RNP. Cependant, seules 25 mailles (12 plateaux, 8 versants et 5 bas-fonds) ont pu être installées. Les 7 mailles manquantes (5 plateaux et 2 versants) correspondent à des zones inaccessibles à cause des conditions du terrain difficile. Ces dernières ne pouvaient être remplacées par peur d'avoir des mailles dans lesquelles on trouve à la fois deux unités géomorphologiques.

Dans chacune des mailles installées, un inventaire itinérant a été effectué. Il consiste à parcourir la maille dans tous les sens et de recenser toutes les espèces végétales (ligneuses et herbacées) rencontrées sur une fiche. Les espèces entre les mailles ont également été recensées (Samb et al., 2020).

Les espèces non identifiées ont été récoltées et conservées dans des presses de collecte pour ensuite être identifiées à l'aide de documents de la nomenclature : « *Flore illustrée du Sénégal* » (Ba & Noba, 2001 ; Berhaut, 1971).

Données satellitaires

Les images Landsat avec une résolution au sol de 30 mètres téléchargées à partir du site : <https://earthexplorer.usgs.gov/> ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Les années de prises de vue des différentes images traitées sont 1987, 2000, 2013, 2022. L'année 1987 correspond à l'année de la mise en défens effective de la réserve. L'année 2022 renseigne sur la situation récente d'occupation des sols en général et de l'évolution de la végétation dans la réserve en particulier. Entre ces deux dates, des dates intermédiaires ont été choisies, séparées de plus ou moins 10 ans ; à savoir 2000 et 2013 pour une meilleure analyse des changements.

Tableau 1 : Caractéristiques des images satellitaires Landsat utilisées

| Satellite | Capteur | Date d'acquisition | Résolution Spatial |
|-----------|----------|--------------------|--------------------|
| Landsat 5 | TM | 13 décembre 1987 | 30 m |
| Landsat 7 | ETM | 08 décembre 2000 | 30 m |
| Landsat 8 | OLI TIRS | 04 décembre 2013 | 30 m |
| Landsat 9 | OLI TIRS | 13 décembre 2022 | 30 m |

En ce qui concerne la période de prise de vue, elle a été choisie des images acquises durant la saison sèche (décembre) du fait qu'elles présentent une meilleure qualité par rapport à celles prises en saison des pluies qui présentent des zones nuageuses ou brumeuses (les nuages sont présents en quasi-permanence dans la zone durant la saison des pluies) (Solly et al., 2021).

Analyses et Traitements de données floristiques et d'images satellitaires

Les données d'inventaires collectées ont été saisies et traitées avec le tableur Excel pour établir la liste floristique, le spectre taxonomique, le spectre biologique et le spectre chorologique.

- **Spectre taxonomique**

Chaque espèce recensée est identifiée selon la nomenclature (familles, genres et espèces). Ainsi, le nombre total d'espèces, de genres et de familles de la flore de la Réserve Naturelle de Popenguine ont été déterminés. La nomenclature des taxa (familles, genres et espèces) a été mise à jour et l'orthographe corrigée en utilisant la base de données de tropicos.org (<https://tropicos.org>). La nomenclature employée est celle de Lebrun et Stork (1997) et est basée sur la classification APGIII (2009) (Diouf et al., 2020).

- **Spectre biologique**

Les types biologiques désignent l'ensemble des particularités morphologiques qui jouent un rôle dans la résistance aux conditions défavorables, donc dans la localisation des espèces végétales (Mbayngone, 2008). Les types biologiques considérés pour l'analyse des spectres biologiques sont ceux de Raunkiaer (1934). Il s'agit des types et sous-types des Phanérophytes (Ph), des Chaméphytes (Ch), des Hémicryptophytes (Hc), des Géophytes (G), des Hydrophytes (H) et des Thérophytes (Th) (Sirvent, 2020 ; Baudoin et al., 2018 ; Mbayngone, 2008 ; Mouton, 1966).

- **Spectre chorologique**

C'est la distribution des espèces composant une communauté ou un groupement végétal entre les unités phytogéographiques qu'elles caractérisent (Bastien et Gauberville, 2011 cité par Samb et al. 2020). Les subdivisions chorologiques utilisées dans l'analyse des spectres biogéographiques ont été définies par White (1986). Selon Gomis et al. (2022), ces types biologiques seraient utilisés par plusieurs auteurs pour les phytochories africaines (Faye, 2010 ; Sinsin, 1993). Il s'agit des espèces à large distribution comme **les espèces** : Afro-américaines (Aa), Afro-américaines et Asiatiques (AaAs), Afro-asiatiques (Afs), Américaines et Asiatiques (AmAs), Afro-asiatiques et australiennes (Asu), Afro-malgaches et asiatiques (Ama), Afro-malgaches-asiatiques-australienne ou européennes (Amau), Cosmopolites (Cos), Pantropicales (Pan), Africaines (Af), Afro-australienne (Afu), Australiennes (Au) et Asiatiques (As).

- **Richesse spécifique**

La richesse spécifique est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné (Ramade, 2003 cité par Gomis et al., 2022 ; Gomez, 2022 ; Seydou et al., 2017).

- **Prétraitement des images**

L'interprétation et l'analyse des images satellitaires exigent des traitements numériques de ces derniers (Zemmar, 2010). Ainsi, les images satellitaires ont été soumises à une correction radiométrique, atmosphérique et géométrique grâce au logiciel ENVI version 5.3 avant de procéder à la création de la composition colorée des images.

Les corrections radiométriques consistaient en un calibrage permettant aux utilisateurs de comparer dans le temps, à différentes saisons, les images et de tirer une information significative de la réalité du terrain, et ce, indépendamment des conditions instrumentales (Omari, 2005).

Les corrections atmosphériques ont consisté à déterminer les vraies valeurs de réflectance de surface et à récupérer les paramètres physiques de la surface de la Terre, en supprimant les effets atmosphériques des images satellites (Hadjimitsis et al., 2010).

Les corrections géométriques ont consisté à ramener les images à la même géométrie. Cette étape est nécessaire pour pouvoir superposer et utiliser conjointement les images prises par des capteurs différents à des dates différentes (Solly et al., 2020). La méthode de correction adoptée est le géoréférencement image par image avec choix de quatre points amers à partir de l'image de 2022, utilisée comme référence.

La composition colorée d'une image est le résultat de la superposition des bandes dans les canaux Rouge, Vert et Bleu (RGB). Elle permet de faciliter l'interprétation des images satellitaires et de mettre en évidence des phénomènes environnementaux. La composition colorée utilisée dans cette étude est celle dite infrarouge fausse couleur. Elle combine les bandes correspondant aux longueurs d'onde du PIR, R et V respectivement dans les canaux R-G-B. Il s'agit des bandes 4-3-2 des images Landsat TM de 1987 et ETM+ de 2000, et des bandes 5-4-3 de l'image Landsat OLI_TIRS de 2013 et 2022. Cette composition colorée s'appuie sur les propriétés de la végétation qui réfléchissent très fortement le rayonnement proche infrarouge (Girard & Girard, 2010).

- **Traitement des images satellitaires**

Afin de mettre en exergue les différentes thématiques d'occupation du sol des images satellites de 1987 à 2022, une opération de classification a été effectuée. Cette dernière consiste à regrouper des pixels ou des groupes de pixels de manière à former des classes spectrales, relativement homogènes.

Ainsi, une identification des différentes classes thématiques d'occupation des sols existantes dans la réserve a d'abord été faite à partir des visites et relevés de terrain. Ensuite, la classification par la méthode supervisée a été adoptée pour l'ensemble des images. Le choix de cette méthode se justifie d'abord par notre connaissance réelle du terrain, mais également par le fait qu'elle présente des résultats fiables (Solly et al., 2018).

Il a été identifié dans la Réserve Naturelle de Popenguine trois (3) classes thématiques établies comme suit : l'eau, la végétation (qui regroupe toutes les formations végétales « herbacées et ligneuses » de la réserve), et les sols nus. Dans chacune des différentes classes retenues, des régions d'intérêts (ROIs) définies par la numérisation de plusieurs polygones pour chaque classe thématique ont été appliqués. Pour évaluer la qualité de la classification, une opération de séparabilité spectrale des différentes classes d'occupation du sol a été ainsi effectuée grâce à l'indice de séparabilité Jeffries-Matusita (Solly et al., 2018). À la suite de l'ensemble de ces étapes, l'algorithme maximum de vraisemblance a été utilisé pour classer les différentes classes sur chacune des images. Selon Denis (2020), la méthode de classification par maximum de vraisemblance est l'algorithme le plus utilisé pour la classification d'images en télédétection. La validation des résultats cartographiques permet de s'assurer de leur qualité et de leur précision. Pour cela, le contrôle-terrain pour l'année la plus récente et par interpolation pour les années antérieures a été effectué.

La phase finale a consisté à réaliser des cartes de changement par la cartographie diachronique de chaque image étudiée, afin d'évaluer avec précision les principaux changements intervenus entre deux dates dans la végétation de la RNP. Pour cela, les images des différentes dates ont été superposées à partir de l'algorithme « Intersect » de l'extension « Geoprocessing » du logiciel Arc GIS 10.5. Des tableaux et graphiques issus de ces traitements sont venus compléter les résultats en apportant des précisions sur les superficies de la régression, de la progression et de la stabilité de la végétation au niveau de la réserve naturelle pour les périodes retenues (1987-2000 ; 2000-2013 et 2013-2022).

Résultats et discussion

Résultats

Caractéristiques de la végétation

Composition floristique

L'inventaire de la flore a permis de relever une richesse spécifique de 96 espèces réparties en 79 genres et 30 familles botanique dans la Réserve Naturelle de Popenguine (Tableau 2).

Cette richesse spécifique est majoritairement composée d'herbacées 66,67 % (64 espèces dont 44 sont annuelles et 20 vivaces) et minoritairement de ligneux avec 33,33 %, soit 32 espèces.

L'analyse de la répartition des espèces et genres dans les familles (tableau 2) montre une diversité importante dans la RNP. La flore de la RNP est dominée par des espèces de la famille des *Fabaceae* occupant 23,96 % de l'effectif total, viennent ensuite les espèces de la famille des *Malvaceae* (14,58 %), des *Poaceae* (6,25 %) et enfin des *Rubiaceae* (6,25 %). Les résultats de la présente étude montrent que plus de 20 familles ne sont représentées que par un nombre d'espèces inférieur ou égal à trois (3).

Le genre *Spermacoce* est le plus représenté dans la réserve avec 4 espèces, suivi des genres *Combretum*, *Cassia* et *Corchorus* avec 3 espèces chacun. Les genres avec plusieurs espèces sont au nombre de 12 et les genres avec une seule espèce sont au nombre de 67.

Tableau 2 : Répartition des espèces de la RNP dans les différents groupes taxonomiques

| Familles | Genres | | Espèces | |
|-----------------------------|---------|-------|---------|-------|
| | Nombres | % | Nombres | % |
| <i>Fabaceae</i> | 17 | 21,52 | 23 | 23,96 |
| <i>Malvaceae</i> | 10 | 12,66 | 14 | 14,58 |
| <i>Poaceae</i> | 6 | 7,59 | 6 | 6,25 |
| <i>Rubiaceae</i> | 3 | 3,80 | 6 | 6,25 |
| <i>Convolvulaceae</i> | 4 | 5,06 | 5 | 5,21 |
| <i>Apocynaceae</i> | 4 | 5,06 | 4 | 4,17 |
| <i>Cucurbitaceae</i> | 4 | 5,06 | 4 | 4,17 |
| <i>Combretaceae</i> | 2 | 2,53 | 4 | 4,17 |
| Autres (22 familles) | 29 | 36,71 | 30 | 31,25 |
| TOTAL | 79 | 100 | 96 | 100 |

Spectre taxonomique de la Réserve Naturelle de Popenguine

Le Tableau 3 représente la structure de la flore de la réserve naturelle de Popenguine. Les résultats montrent que les Dicotylédones sont largement dominantes dans le milieu avec 91,67 % de l'effectif spécifique du milieu contre 8,33 % pour les Monocotylédones. Ces Dicotylédones sont aussi majoritaires en genre et en famille, avec respectivement 90 % et 89,87 % contre 10 % et 10,13 % pour les Monocotylédones.

Tableau 3 : Structure de la flore de la Réserve Naturelle de Popenguine

| | Familles | | Genres | | Espèces | |
|-----------------|----------|-----|---------|-------|---------|-------|
| | Nombres | % | Nombres | % | Nombres | % |
| Dicotylédones | 27 | 90 | 71 | 89,87 | 88 | 91,67 |
| Monocotylédones | 3 | 10 | 8 | 10,13 | 8 | 8,33 |
| TOTAL | 30 | 100 | 79 | 100 | 96 | 100 |

Spectre biologique de la Réserve Naturelle de Popenguine

La Figure 3 illustre les proportions des types biologiques des espèces recensées dans la RNP. Cette figure indique que 54 % des espèces de la RNP sont des Thérophytes composés majoritairement des Fabaceae, des Malvaceae et des Convolvulaceae, qui sont des familles fortement présentes dans la RNP.

A côté, on retrouve les Phanérophytes qui occupent 27 % de cette flore, s'expliquant aussi par la présence en nombre important de Fabaceae et de Malvaceae. Les hémicryptophytes (8%), les chaméphytes (6 %), les géophytes (3 %) et les hydrophytes (2 %) sont faiblement représentées.

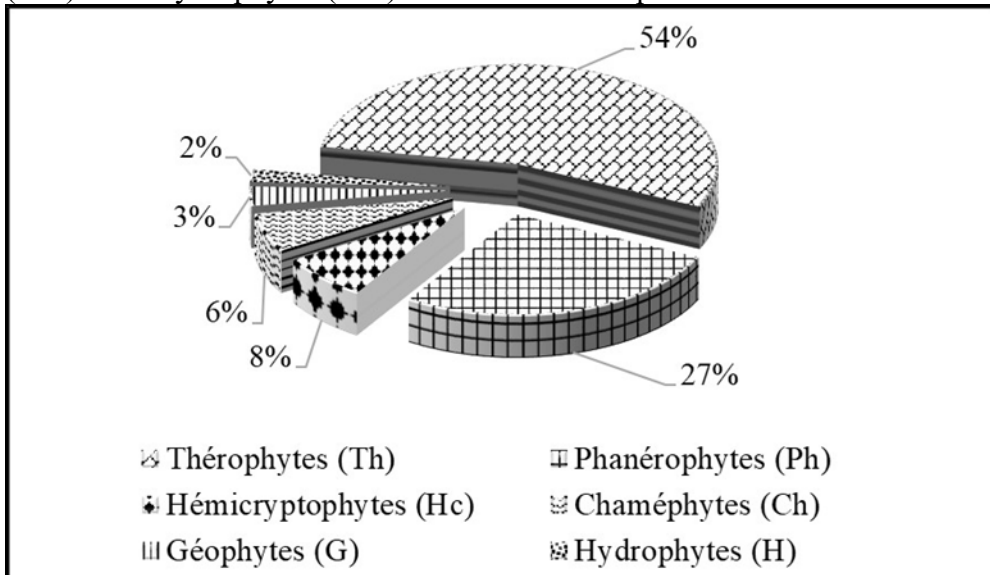
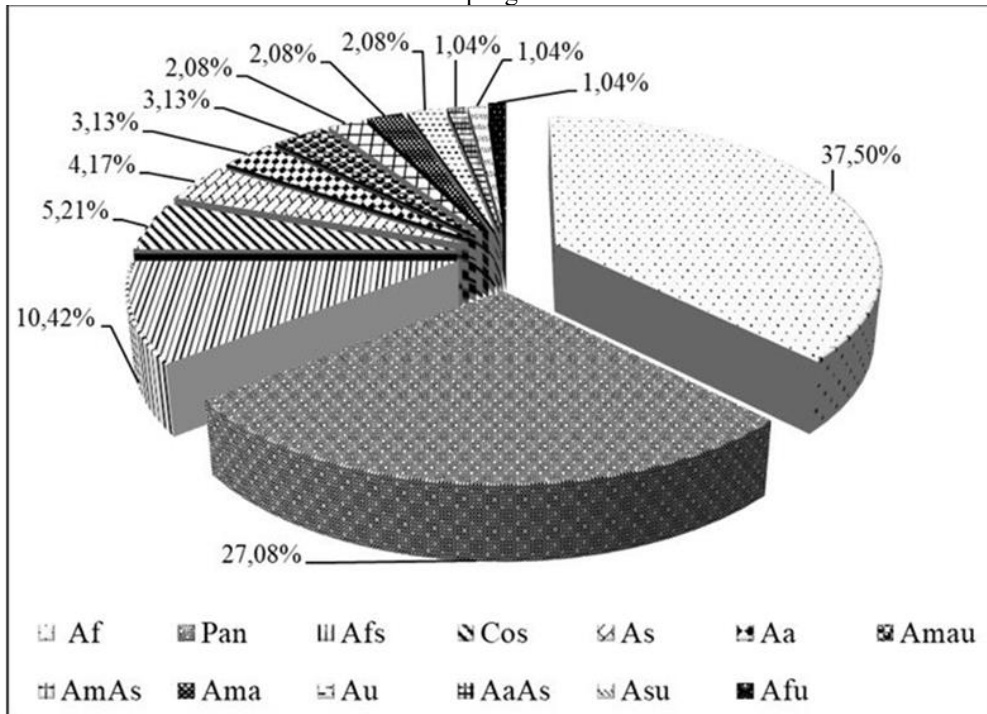


Figure 3 : Spectre biologique des espèces rencontrées dans la Réserve Naturelle de Popenguine

Spectre phytogéographique de la Réserve Naturelle de Popenguine

La Figure 4 représente la répartition des espèces de la RNP regroupées en fonction de leurs affinités géographiques. Le spectre chorologique montre aussi une diversité importante dans le milieu avec des espèces d'aire de répartition géographique diverses. La flore de la RNP est dominée par des espèces africaines (37,50 %), pantropicales (27,08 %) et afro-asiatiques (10,42 %) qui occupent à elles seules plus de 70 % des espèces du milieu. L'analyse de cette flore montre aussi la présence des espèces intercontinentales à forte valence écologique (large distribution géographique). Ce sont les espèces cosmopolites (5,21 %), asiatiques (4,17 %), afro-américaines (3,13 %) et afro-malgaches-asiatiques-australiennes ou européennes (3,13 %).

Figure 4 : Spectre phytogéographique des espèces rencontrées dans la Réserve Naturelle de Popenguine



Légende : Afro-américaines (**Aa**), espèces Afro-américaines et Asiatiques (**AaAs**), espèces Afro-asiatiques (**Afs**), espèces Américaines et Asiatiques (**AmAs**), espèces Afro-asiatiques et australiennes (**Asu**), des espèces Afro-malgaches et asiatiques (**Ama**), des espèces Afro-malgaches-asiatiques-australienne ou européennes (**Amau**), des espèces Cosmopolites (**Cos**), des espèces Pantropicales (**Pan**); des espèces Africaines (**Af**), des Espèces Afro-australienne (**Afu**), des espèces Australiennes (**Au**) et des espèces Asiatiques (**As**)

Dynamique spatio-temporelle de la couverture végétale de la RNP de 1987 à 2022

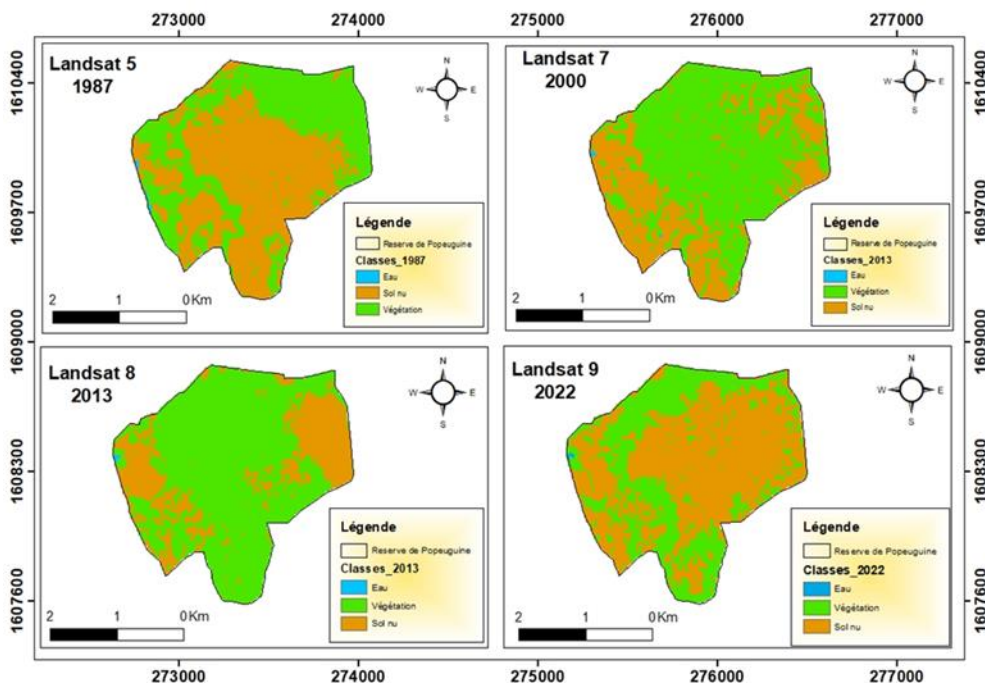
Dynamique de l'occupation de sol de la RNP de 1987 à 2022

La Figure 5 montre les cartes d'occupation du sol. Au total trois classes d'occupation du sol sont identifiées à savoir les classes de la végétation, de l'eau et de sol nu. Par ailleurs les statistiques de ces classes sont présentées dans le Tableau 4. En 1987 et en 2022, l'occupation du sol de la réserve est caractérisée par une forte présence des sols nus qui occupent plus de la moitié de la superficie de cette dernière, soit respectivement 57,36 % (340,09 ha) et 63,56 % (509,73 ha) contre les surfaces végétales avec 42,40 % (521,73 ha) et 36,33 % (291,37 ha). En 2000 et 2013, le tableau mentionne une régénération de la végétation de la réserve à des proportions respectives de 65,08 % et 73,18 %. Au même moment, les sols nus ont fortement régressé dans la réserve et occupent 34,83 % en 2000 puis 26,72 % en 2013. L'eau très faiblement présente dans la partie terrestre de la réserve (un seul point d'eau temporaire)

a également perdu de sa superficie au fil des années en passant de 0,24 % soit 1,93 ha en 1987 à 0,11 % soit 0,87 ha en 2022.

Tableau 4 : Statistiques de l'occupation du sol en 1987, 2000, 2013 et 2022

| Classes d'occupation du sol | Superficie en hectare (ha) | | | | Proportion (%) | | | |
|-----------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|----------------|-------|-------|-------|
| | 1987 | 2000 | 2013 | 2022 | 1987 | 2000 | 2013 | 2022 |
| Eau | 1,93 | 0,79 | 0,77 | 0,87 | 0,24 | 0,10 | 0,10 | 0,11 |
| Végétation | 340,09 | 521,73 | 587,26 | 291,37 | 42,40 | 65,08 | 73,18 | 36,33 |
| Sol nu | 460,02 | 279,20 | 214,42 | 509,73 | 57,36 | 34,83 | 26,72 | 63,56 |



Réalisatrice : Christine V. N. SAGNA ; Source : USGS Landsat 5, 7, 8 et 9 ; SCR : WGS 84 UTM zone 28N ; Date : Février 2024

Figure 5 : Cartographie de l'occupation du sol de la Réserve Naturelle de Popenguine en 1987, 2000, 2013 et 2022

Évolution des changements de couverture végétale de 1987 à 2022

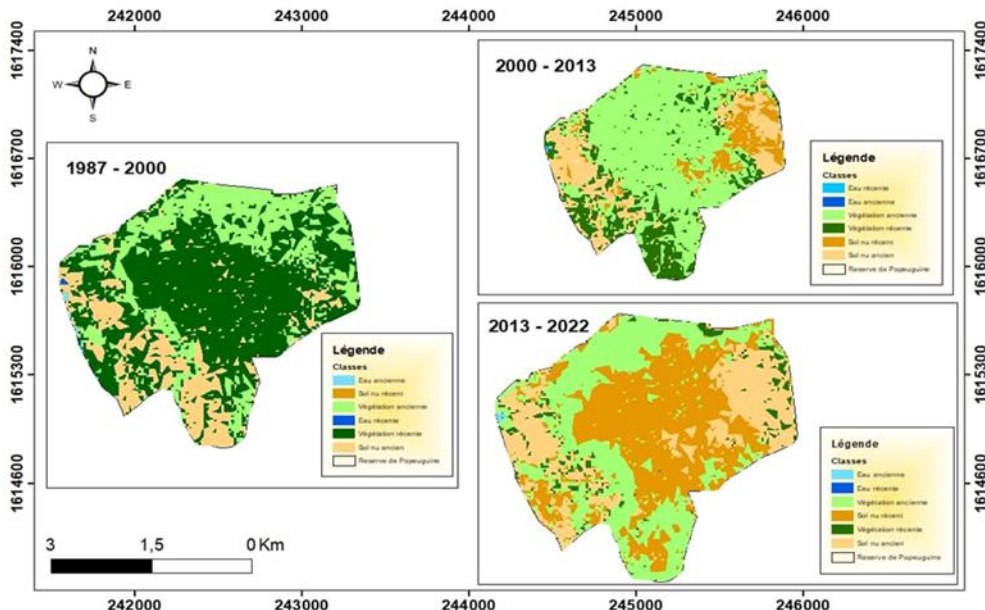
De 1987 à 2022, les trois (3) unités paysagères de la RNP ont connu des changements significatifs. La dynamique révèle une hausse pour certaines catégories d'occupation du sol et une baisse pour d'autres pendant les différentes dates de prise de vue des images. La dynamique initialement progressive du profil de la végétation a subi un changement significatif au cours des dernières années d'observation. En effet, la végétation a vu sa superficie augmenter respectivement de 181,64 ha et 65,53 ha, soit des augmentations de 53,41 % et 12,56 % durant les périodes 1987-2000 et 2000-2013. Entre 2013 et 2022, on a constaté une importante diminution de la surface végétale, avec une perte de 295,89 hectares, soit 50,38 %. En parallèle,

les sols nus qui diminuaient considérablement (-180,82 ha entre 1987-2000 et -64,78 ha entre 2000-2013) ont connu une augmentation de 295,31 ha, ce qui représente 137,73 % de leur superficie.

Globalement, la tendance de l'occupation du sol de la RNP entre 1987 et 2022 est régressive pour la végétation et l'eau, avec respectivement 48,72 ha et 1,06 ha perdus, soit respectivement 14,33 % et 54,92 % de superficie. Concernant les sols nus, on a constaté une augmentation de 10,81 % entre 1987 et 2022 sur une superficie de 49,71 hectares (Tableau 5 et Figure 6).

Tableau 5 : Évolution de l'occupation du sol dans la RNP de 1987 à 2022

| Classes | Évolution des changements de couverture végétale | | | | | | | |
|-------------------|--|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | 1987-2000 | | 2000-2013 | | 2013-2022 | | 1987-2022 | |
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % |
| Eau | -1,13 | -58,55 | -0,03 | -3,75 | 0,1 | 12,99 | -1,06 | -54,92 |
| Végétation | 181,64 | 53,41 | 65,53 | 12,56 | -295,89 | -50,38 | -48,72 | -14,33 |
| Sol nu | -180,82 | -39,31 | -64,78 | -23,20 | 295,31 | 137,73 | 49,71 | 10,81 |



Réalisatrice : Christine V. N. SAGNA ; Source : USGS Landsat 5, 7, 8 et 9 ; SCR : WGS 84 UTM zone 28N ; Date : Février 2024

Figure 6 : Cartographie des changements de l'occupation du sol de la Réserve Naturelle de Popenguine entre 1987-2000, 2000-2013 et 2013-2022

Discussion

L'analyse floristique de la Réserve Naturelle de Popenguine (RNP) a révélé une richesse spécifique de 96 espèces réparties en 79 genres et 30 familles. Les herbacées recensées sont majoritaires aux ligneuses dans la réserve. Ces résultats ne corroborent pas ceux obtenus par Niemet Gampika (2012) et Diédhiou (2011) d'une part et ceux obtenus par Thiam (2013) d'autre

part. Ces auteurs, ayant respectivement travaillé uniquement sur les ligneux et uniquement sur les herbacées dans la RNP, ont enregistré des richesses spécifiques supérieures au nôtre. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que l'étude n'a pas pu parcourir toute la réserve pour inventorier l'ensemble de l'échantillonnage à cause des mauvaises conditions du terrain. Ainsi, la flore de la présente étude peut être revue à la hausse parce que quelques échantillons restent à déterminer. De plus, les périodes de la réalisation des études et les types d'échantillonnage qui diffèrent peuvent également expliquer cette différence. La grande présence des herbacées annuelles contrairement aux vivaces témoigne d'un déséquilibre de l'écosystème de la RNP. En effet, malgré le statut de protection de la réserve, cette dernière n'est pas à l'abri des feux de brousse. Par ailleurs, elle est sujette ces dernières années à des convoitises de la part des populations, notamment des éleveurs, à cause de sa végétation qui demeure la seule encore présente dans la zone. Cela pourrait expliquer la dominance des herbacées annuelles au détriment des vivaces dans la réserve. Ces mêmes raisons ont été avancées par Diallo et al. (2013) pour expliquer le rapport herbacées annuelles/vivaces élevé dans la réserve de Fina au Mali.

Les familles des Fabaceae, des Malvaceae, des Poaceae, des Rubiaceae sont les plus riches en espèces dans la zone d'étude. Ce résultat est similaire à l'étude antérieure menée dans la zone par Thiam (2013) qui a rapporté que les Fabaceae étaient la famille la plus rependue dans la RNP. Cette importance des Fabaceae et des Malvaceae s'expliquerait par l'utilisation de la classification APGIII qui réunit les sous-familles des Fabaceae, des Mimosaceae et des Caesalpiniaceae dans la famille des Fabaceae et les sous-familles des Tiliaceae et des Sterculiaceae dans la famille des Malvaceae (Bassene et al., 2014 ; Bassene, 2012). En ce qui concerne les Poaceae, leur importance serait surtout liée à leur grande capacité de production de graines même dans les conditions hostiles (Ka et al., 2019). Saidou et al. (2010) soulignent que les graminées résistent aux différentes perturbations et qu'elles développent des stratégies leur permettant de se maintenir et de se développer dans un environnement perturbé.

Les Dicotylédones dominent très largement cette flore de la réserve. Ces résultats corroborent ceux de Faye et al. (2018) trouvés dans la Réserve Spéciale de Faune de Gueumbeul (RSFG). Sur l'étendue du territoire Sénégalais, cette même tendance de prédominance des Dicotylédones au détriment des Monocotylédones tant au niveau des familles, des genres et des espèces a été observée par plusieurs auteurs comme Diouf et al. (2019) ; Bassene et al. (2014) ; Ba & Noba (2001).

La flore de la RNP est caractérisée par 6 types biologiques. Il s'agit des thérophytes, des phanérophytes, des chaméphytes, des hémicryptophytes, des géophytes et des hydrophytes. L'analyse du spectre biologique a permis

de constater la prédominance des espèces thérophytes dans la RNP. Cette prédominance était déjà observée par Thiam (2013), qui avait uniquement travaillé sur les herbacées de la réserve. La faiblesse de la pluviométrie de la zone, l'hydrologie mauvaise de la réserve caractérisée par l'assèchement progressif de son unique plan d'eau (pendant une grande période de l'année) et les pressions et menaces qui prennent de l'ampleur dans la RNP peuvent être la raison de cette importante présence des thérophytes. Ces espèces, dotées d'un cycle de vie très court, sont capables de résister aux conditions édapho-climatiques les plus extrêmes en passant la mauvaise saison à l'état de graine. Les phanérophytes, les plus importants après les thérophytes, montrent la faible représentativité des ligneux dans presque toute la réserve. Cette présence des phanérophytes constitue, selon Arouna et al. (2016) un espoir pour reconstituer les formations naturelles dégradées.

Les types phytogéographiques ont été aussi évalués à travers leurs spectres bruts. Ils traduisent la fidélité des espèces à leur région de confinement et permettent de juger de la spécificité de la flore locale (Arouna, 2012). Dans l'ensemble, les espèces Africaines et Pantropicales constituent plus de la moitié de la flore de la réserve. Les espèces d'origine africaines sont plus nombreuses et représentent plus du quart suivies des espèces pantropicales. Ces résultats sont similaires à ceux de Thiam (2013) qui a obtenu des résultats proches au cours de son étude sur la flore et les groupements végétaux herbacées de la RNP. La dominance des espèces Africaines attestant que la flore de la réserve garde encore sa spécificité phytogéographique en dépit des perturbations qu'elle a subies (Arouna et al., 2016). Bassene (2012) estime que la dominance des espèces africaines pourrait s'expliquer par la position continentale et probablement par l'adaptation de ces espèces aux conditions bioclimatiques de la zone. Toutefois, l'importance remarquable des espèces pantropicales semble être liée à la position géographique du Sénégal en général et de la RNP en particulier, qui est occidentale et océanique (Bassene, 2012 ; Noba et al., 2004). Les espèces afro-asiatiques, cosmopolites et asiatiques sont à signaler compte tenu de leurs proportions. Ces proportions pourraient s'expliquer du fait que le biotope de la réserve est l'un des points de chute des eaux pluviales du bassin versant côtier de Popenguine, pouvant accueillir ainsi beaucoup d'éléments étrangers à la réserve comme les graines des espèces introduites. À cela, il faut ajouter le fait que la RNP est un site de refuge des oiseaux migrateurs, susceptibles d'amener avec eux les graines des espèces venant de plusieurs horizons géographiques.

Les recherches menées dans la Réserve Naturelle de Popenguine avant 2013-2022 ont révélé une évolution progressive dans le temps et dans l'espace de la flore de la réserve (Thiam, 2013 ; Niemet Gampika, 2012 ; Diédhiou, 2011 ; Diédhiou, 2010 ; Diop, 2009;). Les résultats de télédétection de la

présente étude ont révélé cette tendance entre 1987 et 2013, avec une augmentation de la superficie de la végétation dans la zone. Selon Niemet Gampika, (2012), ces résultats pourraient être expliqués par différentes raisons telles que le changement de statut de conservation de la réserve, qui est passé d'une forêt classée non clôturée à une réserve entièrement clôturée, ce qui limite considérablement les pressions anthropiques sur la ressource ; A cela s'ajoutent les actions de restauration de l'écosystème entreprises dans la réserve, telles que le reboisement, les aménagements antiérosifs, les barrages de rétention d'eau, etc. ; ainsi que le retour de la pluviosité observé à partir de 1995 après la sécheresse intense des années 80 (Nicholson, 2005). Toutefois, ces résultats indiquent une diminution de la couverture végétale de la RNP entre 2013 et 2022, même si les quantités de pluie enregistrées dans la zone pendant cette période sont assez importantes. Cette diminution de la végétation pourrait être due au fait que la RNP est devenue très recherchée des populations riveraines ces dernières années en raison de la remontée biologique très visible et caractérisée par des buissonnements importants, après plus de trente ans de mise en défens (DPN, 2023). Celui-ci fait référence aux phénomènes de coupe illicite de bois, de divagation du bétail et surtout de feux de forêt qui se manifestent de plus en plus dans la réserve, en particulier dans sa partie Sud et Est.

Conclusion

Cette étude, portant sur l'analyse de la dynamique spatio-temporelle et caractérisation de la couverture végétale dans la RNP a permis de faire une mise à jour de la composition et la structure de la flore. L'analyse floristique a montré en termes de types biologiques et phytogéographiques un peuplement marqué par l'importance des thérophytes et d'une végétation majoritairement composée d'espèces Africaines. Ces résultats permettaient de déduire que dans la zone d'étude, le mode de conservation adopté depuis plus de trente ans fait ses preuves et que des efforts doivent être mobilisés davantage pour que l'écosystème de la réserve soit stable.

La dynamique spatio-temporelle de la couverture végétale dans cette zone est globalement régressive marquée par deux (2) phases : une évolution progressive de 72,68 % de la couverture végétale de la réserve entre 1987 et 2013 suivi d'une forte régression de 50,38 % de cette couverture végétale entre 2013 et 2022, malgré les bonnes pluviométries qui avaient été enregistrées pendant cette période. Il devient alors urgent de mettre en place des mesures d'intervention pour faire face à ces pressions anthropiques et menaces.

Les résultats de cette étude constituent à la fois une base de données et un outil pour les décideurs et les populations à bien orienter leurs actions de gestion et de protection des ressources naturelles de la réserve. Ils soulignent également l'importance de redoubler les efforts de gestion car l'écosystème de

la réserve est toujours en déséquilibre. En perspective, l'étude spécifique des causes de la perte de couverture végétale enregistrée ces dernières années permettrait de mieux gérer cette aire protégée.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de tous ceux qui ont d'une manière ou d'une autre aidé à la réalisation de ce travail. De manière particulière, nous remercions le conservateur de la Réserve Naturelle de Popenguine et toute son équipe pour nous avoir facilité la réalisation des travaux de terrains. Nous remercions également tous les lecteurs anonymes de ce manuscrit.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Arouna, O. (2012). *Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la commune de Djidja au Bénin : Implications pour l'aménagement du territoire*, Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, 246 p.
2. Arouna, O., Etene, C. G., & Issiako, D. (2016). Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin, *Journal of Applied Biosciences*, 108, 10543-10552, <https://doi.org/10.4314/jab.v108i1.7>
3. Ba, A. T., & Noba, K. (2001). Flore et biodiversité végétale au Sénégal, *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(3), 149-155.
4. Bassene, C. (2012). Flore adventice du maïs (*Zea mays L.*) dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal) : Structure et nuisibilité des espèces, *Journal of Applied Biosciences* 59 : 4307– 4320.
5. Bassene, C., Mbaye, M. S., Camara, A. A., Kane, A., Gueye, M., Sylla, S. N., Sambou, B., & Noba, K. (2014). La flore des systèmes agropastoraux de la Basse Casamance (Sénégal) : Cas de la communauté rurale de Mlomp, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(5), 2258-2273. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i5.28>.

6. Baudoin, W. T. J., François, N. V., & Théophile, F. (2018). Analyses des spectres écologiques de la flore des savanes des hautes terres de l'Ouest Caméroun. 8 p.
7. Bellefontaine, R., Gaston, A., & Petrucci, Y. (1997). Aménagement des forêts naturelles des zones tropicales sèches. Rome : FAO, *Cahiers FAO conservation*, Vol. 32,321 p.
8. Berhaut, J. (1971). Flore illustrée du Sénégal, *Editions Clairafrique*, 485 p.
9. BIODDEV2030. (2021). Evaluation de l'état de la biodiversité et de ses différentes menaces au Sénégal, *Rapport final*, 74 p.
10. Boulud, G. (1998). *Les femmes des singes, la femme africaine en milieu rural : Une actrice privilégiée du développement durable ? « L'exemple de l'Espace Naturelle Communautaire Ker Cupaam et de la Réserve Naturelle de Popenguine au Sénégal »*, [Maîtrise d'aménagement]. Université Jean-Moulin, Lyon III, 161 p.
11. Dailly, V. (2012). Aménagement et gestion d'aire protégée en Afrique, 70 p.
12. Denis, A. (2020). Travaux Pratiques de Télédétection Spatiale, 111 p.
13. Diallo, H., Faye, E. H., Kone, B., Bindelle, J., Lejoly, J., & Maiga, M. (2013). Biodiversité et valeur pastorale des herbacées de la Réserve de Fina (Mali). *Scripta Botanica Belgica*, 50, 111-120.
14. Diédhiou, P. M. (2010). *Les aires protégées au Sénégal : Espace durable ? Cas de la Réserve Naturelle de Popenguine et de la Réserve d'Intérêt Communautaire de la Somone*, Mémoire Master, AgroParisTech-ENGREF. 147 p.
15. Diédhiou, S. (2011). *Etude de faisabilité d'une introduction d'antilopes dans la réserve naturelle de Popenguine : Cas de l'Oryx Algazelle de la Gazelle Dama Mhorr et de la Gazelle Dorcas* Mémoire Diplôme d'Ingénieur des Travaux des Eaux et Forêts, Université de Thiès, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR) EX-ENCR de Bambey, 67 p.
16. Diop, B. (2009). *Diagnostic de l'état de la conservation de la biodiversité dans l'Espace Naturel Communautaire Kër Cupaam : Perspectives pour une valorisation durable des ressources naturelles (Sénégal)*, Mémoire Master, Université de Liège, 66 p.
17. Diop, R. D., Diop, I., Faye, B., Djihounouck, Y., Samb, A., Mbaye, M. S., DIOUF-AGBO, M., SY, M. T. A., & NOBA, K. (2019). Etude comparée de la flore du conservatoire botanique Michel Adanson de Mbour (Sénégal) aux flores naturelles de la zone et aux espèces surexploitées et endémiques du Sénégal, *Asian Journal of Science and Technology*, 10(09), 10165-10176.

18. Diouf, J., Camara, A., Mbaye, M., Diouf, N., Diop, D., Ndour, S., Birane, D., Mballo, R., Bassene, C., & Noba, K. (2020). Le jardin botanique du département de biologie végétale (FST/UCAD/Sénégal) : Structure de la flore d'un site de haute diversité floristique. *International Journal of development Research*, 10, (07), 37997-38004.
19. Diouf, J., Mbaye, M. S., Camara, A. A., Dieng, B., Diouf, N., Sarr, M., & Noba, K. (2019). Structure et dynamique de la flore et la végétation de la réserve spéciale botanique de Noflaye (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(3), 1458-1472.
20. DPN. (2023). Plan d'aménagement et de gestion de la Réserve Naturelle de Popenguine (2023-2027), 86 p.
21. Faye, B., Bassene, C., Camara, A. A., Ngom, A., Mbaye, M. S., & Noba, K. (2018). Flore et végétation de la Réserve Spéciale de Faune de Gueumbeul (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 43-61.
22. Faye, E. H. (2010). *Diagnostic partiel de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal : Application de méthodes floristique, phytosociologique, ethnobotanique et cartographique*, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 266 p.
23. Faye, M. H. T. (2020). *Conservation de la biodiversité et développement local : Cas de l'aire protégée autochtone et communautaire de Mangagoulack (Basse-Casamance)*, Mémoire Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, 140 p.
24. Girard, M.-C., & Girard, C.-M. (2010). Traitement des données de télédétection_ Environnement et ressources naturelles. -2e éd, *Parution, Dunod*, 553 p.
25. Gomez, F. A. (2022). *Caractéristiques structurales, floristique et stock de carbone de la végétation ligneuse des différents modes d'occupation du sol de la commune de Coubalan (département de Bignona)*, Mémoire Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, 52p.
26. Gomis, D., Benga, A. D. T., Faye, B., Guisse, A., & Ndiaye, A. (2022). Caractérisation du peuplement ligneux des zones de culture dans l'Arrondissement de Djilor (Fatick, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2), 824-841.
27. Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M. G., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L., & Clayton, C. R. I. (2010). Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications:

- Impact on vegetation indices. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(1), 89-95.
28. Ka, S. L., Mbaye, M. S., Gueye, M., Camara, A. A., Dieng, B., & Noba, K. (2019). Flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance, zone soudanienne du Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(1), 411-425. Article 1. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.32>
 29. Mbayngone, E. (2008). Caractéristiques écologiques de la végétation ligneuse du sud-est du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest) : Cas de la réserve de Pama. *Candollea*, 63, 17-33.
 30. MEDD. (2014). Cinquième rapport national sur la mise en œuvre de la convention internationale sur la diversité biologique, 131 p.
 31. Mouton, J. A. (1966). Les types biologiques foliaires de Raunkiaer. Etat actuel de la question. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 113(sup2), 28-36. <https://doi.org/10.1080/00378941.1966.10838471>
 32. Ndour, A. (2021). *Etude hydrologique des bassins versants côtiers de Popenguine*, Mémoire Master. Université Gaston Berger, 93 p.
 33. Nicholson, S. (2005). On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 615-641. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.004>
 34. Niemet Gampika, D. (2012). *Contribution à l'étude de la dynamique de l'occupation du sol et de la diversité des espèces végétales ligneuses dans la réserve naturelle, la forêt classée et la zone de terroir de Popenguine au Sénégal*, Mémoire Master, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 88 p.
 35. Noba, K., Ba, A. T., Caussanel, J.-P., Mbaye, M. S., & Barralis, G. (2004). Flore adventice des cultures vivrières dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal). *Webbia*, 59(2), 293-308. <https://doi.org/10.1080/00837792.2004.10670774>
 36. Omari, L. (2005). *Contribution à l'étude d'un écosystème à Artemisia herba alba dans le Sud Oranais : Diagnose phytoécologique et cartographie par télédétection spatiale*, Thèse, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène, 125 p.
 37. Ouattara, K., Barron, J., Ouedraogo, I., & Gordon, L. J. (2015). Etats des écosystèmes sahéliens : Reverdissement, perte de la diversité et qualité des sols. *Afrique science*, 11(5), 433-446.
 38. Raunkiaer, C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer. *Arno Press*, 1997, 632 p.
 39. Saidou, O., Douma, S., Djibo, A. Z., & Fortina, R. (2010). Analyse du peuplement herbacé de la station sahélienne expérimentale de

- Toukounous (Niger): Composition floristique et valeur pastorale. *Sécheresse*, 21(2), 154-160. <https://doi.org/10.1684/sec.2010.0243>
40. Samb, A., Mbaye, M. S., Diouf, J., Dieng, B., Camara, A. A., Ka, S. L., Noba, K., Sidybe, M., Sylla, S. N., & Diouf, N. (2020). Réserve Naturelle de Bandia (Sindia /Sénégal) : Caractérisation floristique et l'état de conservation de la diversité végétale. *International Journal of Development Research*, 10(7), 38027-38033.
41. Seydou, N., Mohamed, M. C., Ndiaye, O., & Malainy, D. (2017). Influence de la flore ligneuse associée dans la production des parcs à *Anacardium occidentale* L. dans la communauté rurale de Djibanar (Casamance/Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 585-596.
42. Sirvent, L. (2020). Les types biologiques : Etat de l'art, actualisation des définitions et mise en place d'un référentiel, *Conservatoires botaniques nationales méditerranéennes de Porquerolles*, 64 p.
43. Solly, B., Diéye, 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. Géographie physique et environnement*, 15, 41-67.
44. Solly, B., Diéye, E. H. B., Sané, T., & Diaw, A. T. (2018). Dynamique de la Mangrove de Thiobon dans l'estuaire de la Casamance (Sénégal) entre 1972 et 2017. *European Scientific Journal*, 14(33), 118-133. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n33p118>
45. Solly, B., Oumar, S. Y., Jarju, A. M., & Tidiane, S. (2021). Détection des zones de dégradation et de régénération de la couverture végétale dans le sud du Sénégal à travers l'analyse des tendances de séries temporelles MODIS NDVI et des changements d'occupation des sols à partir d'images LANDSAT. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 223(1), 1-15.
46. Thiam, B. M. (2013). Flore et groupements végétaux herbacées de la réserve naturelle de popenguine (Sénégal), Mémoire Master. Université Cheikh Anta Diop/ Institut des Sciences de l'Environnement, 60 p.
47. White, F. (1986). La végétation de l'Afrique : Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique *Unesco/AETFAT/UNSO (Vol. 20)*, IRD Editions, 384 p.
48. Zemmar, N. (2010). Etude diachronique da la végétation de la région de Djelfa, Thèse, 110 p
<http://repository.usthb.dz/xmlui/handle/123456789/2954>.