



UNIVERSITE IBA DER THIAM DE THIES

UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT HYDROSCIENCES ET ENVIRONNEMENT

MODÉLISATION DE L'HABITAT DU LION (*Panthera leo leo*), DE SES PROIES ET DÉTERMINATION DE SON RÉGIME ALIMENTAIRE AU PARC NATIONAL DU NIOKOLO-KOBA

Mémoire présenté et soutenu publiquement le 08/03/2024 par :

Mademoiselle Sawdatou Mané

Pour l'obtention du diplôme de

Master en Ingénierie et Gestion de l'Environnement

Option : Gestion des Ressources Naturelles et Risques

3^{ème} Promotion

Devant le jury composé de :

Pr Saidou NDAO	Maître de conférences	UFR SET/UIDT	Président
Dr Ousmane DIANKHA	Maître-Assistant	UFR SET/UIDT	Examineur
Cl Ibrahima GUEYE	Conservateur des Parcs Nationaux	DPN/MEDDTE	Examineur
Dr Mallé GUEYE	Maître-Assistant	UFR SET/UIDT	Encadreur

Année universitaire: 2021/2022

Remerciements

Je rends grâce à Allah Subhānahu wa ta'āla de m'avoir permis d'écrire ce mémoire et de m'avoir donné la force de persévérer.

Je remercie Monsieur Mouhamadou Thiam, directeur de l'UFR SET de l'Université Iba Der Thiam, le Pr Saidou Ndao, chef du département Hydrosiences et Environnement et l'ensemble de l'administration pour la réussite de mon travail.

J'exprime ma reconnaissance et ma gratitude les plus sincères à mon encadreur Docteur Malla GUEYE, coordonnateur de la filière Master en Ingénierie et Gestion de l'Environnement qui a consacré son temps pour veiller à ce travail et à sa réussite, malgré ses occupations. Je lui suis entièrement reconnaissante pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit des membres du jury notamment le Pr Saidou Ndao, le Dr Ousmane DIANKHA et le Cl Ibrahima GUEYE pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je remercie le Commandant Jacques GOMIS, conservateur du PNNK et son adjoint Capitaine THIAW. Mes remerciements vont aussi à l'endroit des Sergents Abdou Aziz NDIAYE, Ousmane THIAW et Mbaye DIOUF du bureau suivi écologique, du Lieutenant Yague DIOUF et à l'ensemble du personnel du parc de m'avoir facilité mes travaux.

Je remercie particulièrement Monsieur Assane DIOUF pour ses conseils, son aide et l'intérêt qui a porté à mon travail.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit du GIE des guides du Niokolo et à Messieurs Khatar MBAYE et Moustapha CISS du Programme de Micro Financements du Fonds pour l'Environnement Mondial (PMF/FEM) qui m'ont permis d'avoir une subvention dans le cadre de mon mémoire.

Mention spéciale à ma famille, mes chers parents Daouda MANÉ et Amy SY, à ma grand-mère et homonyme Sawdatou SOW, mes frères et sœurs Moustapha, Hafsatou, Mouhamet, Mamadou lamine et Adja pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit Mbargou SOW BA, qui m'a soutenu et encouragé durant tout mon mémoire.

Je remercie également mon amie Fatoumata Zahra BANORA, pour sa compagnie, son soutien et ses conseils et à tous mes promotionnaires et amis de l'UIDT.

Résumé

Le lion a connu un déclin majeur de son habitat et de l'effectif de ses populations au cours de ces dernières années. Ceci s'explique par la transformation de son habitat et la diminution de ses proies potentielles. Notre étude s'est donc penchée sur la modélisation de l'habitat son habitat et de ses proies et l'analyse de son régime alimentaire pour contribuer à sa conservation dans le PNNK. L'élévation, les précipitations annuelles, le NDVI, les types d'habitat, la distance par rapport au cours d'eau, la disponibilité des proies, le braconnage et la divagation du bétail ont été utilisés comme variables dans la modélisation de l'habitat du lion avec le logiciel MaxEnt. La composition du régime alimentaire a été déterminée avec la biomasse et la fréquence d'occurrence. L'indice de Jacobs a permis de calculer la préférence alimentaire du lion.

Le modèle obtenu avec la modélisation de l'habitat du lion est performant avec un AUC de 0,96 et indique que l'habitat le plus favorable du lion se situe dans le centre du parc. Cette distribution est influencée par l'élévation, les précipitations annuelles, la disponibilité des proies, le braconnage et la divagation du bétail. Le régime alimentaire est constitué principalement par le phacochère. Le lion présente une forte préférence pour les espèces de moyennes et grandes tailles telle le buffle de savane, le cobe defassa, l'hippotrague, le cobe de Buffon et le phacochère. Celles avec de petite taille telles que le céphalophe de Grimm, le céphalophe à flancs roux, l'ourébi, le guib harnaché et le babouin de guinée sont évités.

Mots clés : Modélisation ; Distribution ; Lion ; Parc National Niokolo Koba ; MaxEnt ; Indice de Jacobs

Abstract

The lion has experienced a major decline in its habitat and population size in recent years. This is explained by the transformation of its habitat and the reduction of its potential prey. Our study therefore focused on the modeling of its habitat and its prey and the analysis of its diet to contribute to its conservation in the PNNK. Elevation, annual precipitation, NDVI, habitat types, distance from large water bodies, prey availability, poaching pressure and livestock pressure were used as variables in modeling the lion habitat with MaxEnt software. Diet composition was determined with biomass and frequency of occurrence. The Jacobs index was used to calculate the lion's food preference.

The model obtained with the modeling of the lion habitat performs well with an AUC of 0.96 and indicates that the most favorable habitat for the lion is located in the center of the park. This distribution is influenced by elevation, annual rainfall, prey availability, poaching pressure and livestock pressure. The diet consists mainly of warthogs. The lion has a strong preference for medium and large species such as the savannah buffalo, the defassa waterbuck, the roan antelope, the Buffon's kob, defassa waterbuck and the warthog. Those with small sizes such as the common duiker, the red flanked duiker, the oribi, the bushbuck and the guinea baboon are avoided.

Keywords: Modeling; Distribution ; Lion ; Niokolo Koba National Park; MaxEnt; Jacobs index

Table des matières

Remerciements	i
Résumé.....	ii
Abstract	iii
Table des matières	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des photos	viii
Liste des tableaux	ix
Liste des abréviations et acronymes	xi
Introduction	1
1. Synthèse bibliographique	3
1.1. Taxonomie et Biologie	3
1.2. Aire de répartition	5
1.3. Écologie	7
1.4. Éthologie	7
1.5. Régime alimentaire.....	8
1.6. Importance du lion.....	9
1.7. Menaces sur le lion.....	9
2. Matériel et méthodes	10
2.1. Zone d'étude	10
2.1.1. Présentation.....	10
2.1.2. Climat	11
2.2.3. Relief	11
2.1.4. Sols et Géologie	11
2.1.5. Hydrologie	11
2.1.6. Faune	12
2.1.7. Flore.....	12
2.2. Matériel biologique	13
2.3. Méthodologie	13
2.3.1. Collecte de données.....	13
2.3.1.1. Modélisation de l'habitat du lion et de ses proies dans le PNNK.....	13

2.3.1.2. Analyse du régime alimentaire du lion dans le PNNK.....	16
2.3.2. Traitement et analyse des données	17
2.3.2.1. Modélisation de l’habitat du lion et de ses proies dans le PNNK.....	17
2.3.2.2. Analyse du régime alimentaire du lion dans le PNNK.....	22
3. Résultats et discussions	24
3.1. Résultats.....	24
3.1.1. Modélisation de l’habitat du lion dans le PNNK	24
3.1.1.1. Performance du modèle développé	24
3.1.1.2. Contribution relative des variables.....	24
3.1.1.3. Réponses écologiques du lion en fonction des variables étudiées	26
3.1.1.4. Cartographie de l’aire potentielle de l’habitat du lion dans le parc.	28
3.1.1.5. Cartographie des proies potentielles du lion dans le parc	29
3.1.2. Analyse du régime alimentaire du lion dans le PNNK	33
3.1.2.1. Composition du régime alimentaire du lion dans le PNNK	33
3.1.2.2. Analyse de la préférence du lion dans le PNNK.....	36
3.2. Discussion	36
3.2.1. Modélisation de l’habitat du lion et de ses proies	36
3.2.2. Analyse du régime alimentaire du lion.....	39
Conclusion.....	42
Références bibliographiques	43
Annexes.....	53

Liste des figures

Figure 1: Aire de distribution du lion dans le monde (Source Un monde de félins, eline-world.e-monsite.com/pages/felins-en-danger/le-lent-declin-des-lions.html)	6
Figure 2 : Aire de distribution du lion en Afrique de l'ouest (Source : Henschel et al 2014)....	6
Figure 3: Carte du Parc national du Niokolo-Koba.....	10
Figure 4: Emplacements des pièges photographique de 2023	14
Figure 5 : Représentation des variables utilisées pour la modélisation du lion dans le PNNK. A. Braconnage (Nombre d'infractions par secteur), B. Divagation du bétail (Nombre d'intrusions par secteur), C. Élévation (m), D. Type d'Habitat, E. Précipitations annuelles (mm), F. Disponibilité des proies (Nombre d'espèce de proie par secteur), G. Distance par rapport aux cours d'eau (m), H. NDVI.....	20
Figure 6 : Résultat du calcul de l'AUC, Aire Sous la Courbe Caractéristique d'Opération (ROC)	24
Figure 7: Résultats du test Jackknife sur la contribution des variables sélectionnées à la prédiction de l'aire de distribution du lion dans le PNNK	25
Figure 8 : Réponse écologique reflétant la dépendance de l'adéquation prédite par rapport à l'élévation (m).....	26
Figure 9 : Courbes de réponse écologiques reflétant la dépendance de l'adéquation prédite par rapport aux variables qui influencent le plus le modèle. A. Précipitations annuelles (mm), B. Disponibilités en proies (Nombre d'espèce de proie par secteur), C. Braconnage (Nombre d'infraction par secteur), D. Divagation du bétail (Nombre d'intrusion par zone).....	27
Figure 10 : Répartition spatiale potentielle avec adéquation de l'habitat > 50% et > 67% pour le lion dans le parc.....	28
Figure 11 : Cartographie des proies potentielles du lion dans le PNNK. A. Babouin de Guinée (<i>Papio papio</i>), B. Bubale major (<i>Alcelaphus buselaphus major</i>), C. Buffle de savane (<i>Syncerus caffer</i>), D. Céphalophe à flancs roux (<i>Cephalophus rufilatus</i>), E. Céphalophe de Grimm (<i>Sylvicapra grimmia</i>), F. Éland de Derby (<i>Taurotragus derbianus</i>), G. Cobe defassa (<i>Kobus ellipsiprymnus defassa</i>), H. Cobe de Buffon (<i>Kobus kob</i>), I. Guib harnaché (<i>Tragelaphus scriptus</i>), J. Hippotrague (<i>Hippotragus equinus</i>), K. Ourébi (<i>Ourebia ourebi</i>), L. Phacochère (<i>Phacochoerus africanus</i>),.....	32
Figure 12 : Contribution ou fréquence d'occurrence (en %) des espèces de proies dans le régime alimentaire du lion dans le PNNK	34

Figure 13 : Indice de Jacobs des espèces de proies selon la biomasse et la fréquence d'occurrence	36
Figure 14 : Réponse écologique des types d'habitat sur la distribution du lion dans le PNNK	55
Figure 15 : Réponse écologique du NDVI sur la distribution du lion dans le PNNK.....	56
Figure 16 : Réponse écologique de la distance par rapport aux cours d'eau sur la distribution du lion dans le PNNK.....	57
Figure 17 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par la distance par rapport aux cours d'eau. A. Bubale major, B. Cobe de Buffon, C. Hippotrague, D. Cobe defassa	58
Figure 18 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par la divagation du bétail. A. Guib harnaché, B. Céphalophe à flancs roux, C. Phacochère, D. Babouin de Guinée	58
Figure 20 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par les précipitations annuelles. A. Ourébi, B. Céphalophe de Grimm.....	58
Figure 19 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par la divagation du bétail. E. Buffle de savane, F. Éland de Derby.....	58

Liste des photos

Photo 1: Lion d'Afrique (Source : Terra, 2022)	4
Photo 2 : Lionnes d'Afrique (Source : Wendle, 2022)	5
Photo 3 : Fèces de lion collecté dans le PNNK.....	16
Photo 4 : Microscope Zeiss utilisée pour photographier les poils (Gauche) , Plaque chauffante (Droite)	53
Photo 5 : Poil de phacochère issu des échantillons photographié par un microscope.....	54

Liste des tableaux

Tableau 1: Contributions relatives et importance de la permutation en (%) des variables.	25
Tableau 2 : AUC et Contribution en % des variables dans la modélisation de l'habitat des proies.	33
Tableau 3 : Biomasse consommée et biomasse consommée corrigée déterminées à partir des fèces de lion (n =41) dans le PNNK.....	36
Tableau 4 : Variables utilisées pour la modélisation de l'habitat du lion dans le PNNK	53
Tableau 5 : Correspondance entre les types d'habitat et leur valeurs dans la classification de Tappan (2015).....	55
Tableau 6 : Classes des NDVI selon le Land Use Land Cover 1988	56

Liste des abréviations et acronymes

AUC	Area Under the Curve (Aire sous la Courbe)
DPNS	Direction des Parcs Nationaux du Sénégal
FO	Fréquence d'Occurrence
GPS	Global Positioning System (Système de Positionnement par Satellite)
MAB	Man and Biosphere (L'Homme et la Biosphère)
MGL	Modèle Linéaire Généralisé
MEDDTE	Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de la Transition écologique
NDVI	Normalized Vegetation Difference Index (Indice de Végétation par Différence Normalisé)
PIE	Picture Information Extractor (Extracteur d'Information sur Image)
PMF/FEM	Programme de Micro Financements du Fonds pour l'Environnement Mondial
PNNK	Parc National du Niokolo Koba
ROC	Receiving Operator Characteristic (Courbe Caractéristique d'Opération)
SCC	Groupe de Spécialistes des Carnivores
SET	Sciences et Technologie
SIG	Système d'Information Graphique
UCL	Unité de Conservation du Lion
UFR	Unité de Formation et de Recherche
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UIDT	Université Iba Der Thiam
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture)
USGS	United States Geological Survey (Commission Géologique des États-Unis)
UTM	Universal Transverse Mercator (Projection Transverse Universelle de Mercator)
WAP	W-Arly-Pendjari
WGS	World Geodetic System (Système Géodésique Mondial)

Introduction

L'aire de répartition du lion (*Panthera leo*) s'étendait sur la majeure partie de l'Afrique sauf dans les déserts les plus secs et les forêts tropicales, ainsi qu'en Europe, au Moyen-Orient et en Asie (Schaller, 1972 ; Nowell et Jackson, 1996 ; Kingdon, 2003). Des preuves de la présence du lion en Europe, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord ont été trouvées dans des grottes et des tombes (Callou *et al.*, 2004 ; Yamaguchi *et al.*, 2004). Le lion a disparu d'Europe il y a environ 20 000 ans et d'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et d'Asie entre 1850 et 1900 (Nowell et Jackson, 1996 ; Barnett *et al.*, 2006). Deux sous-espèces de lions subsistent aujourd'hui, *Panthera leo leo* et *Panthera leo melanochaita* (Kitchener *et al.*, 2017).

L'aire de répartition de l'espèce s'est largement restreinte en Afrique au cours du XXe siècle (O'Brien *et al.* 1987 ; Loveridge *et al.*, 2002 ; Kingdon, 2003 ; Groupe de spécialistes des carnivores UICN/SSC, 2006). La population de lion en Afrique est irrégulièrement répartie avec une récente estimation de 32 000 individus (Riggio *et al.*, 2013). L'Afrique de l'Ouest regroupe environ 273 à 587 individus (Henschel *et al.*, 2015). Il reste moins de 250 individus majeurs dans toute l'Afrique de l'Ouest dont plus de 90 % se trouvent dans le complexe W-Arly-Pendjari (WAP) selon Henschel *et al.* (2015). Un déclin de 66% des sous populations a été observé en Afrique Subsaharienne (Bauer *et al.*, 2016). La zone subsaharienne a montré la plus grave réduction de l'habitat du lion en Afrique, avec seulement 1,1 % de l'aire de répartition historique restante (Henschel *et al.*, 2015). Le lion de l'Afrique de l'ouest (*Panthera leo leo*) est classé en danger critique d'extinction (Henschel *et al.* 2014, 2015).

Au Sénégal, notamment dans le Parc national du Niokolo-Koba (PNNK) le nombre de lion a drastiquement chuté de 500 à 28-56 individus (Sillero-Zubiri, 1997 ; Gueye *et al.*, 2023).

Ce déclin est probablement lié à la réduction des populations de proies, pour laquelle les déclin les plus prononcés ont également été enregistrés en Afrique de l'Ouest (Craigie, 2010). Ce constat est conforme aux observations de Henschel *et al.* (2014), qui ont également révélé que cette baisse continue des populations de proies est l'une des principales causes de celle des populations de lions dans cette région.

A l'instar des grands prédateurs, le lion joue le rôle d'espèce indicatrice car sa présence reflète la santé des écosystèmes. En tant qu'espèce parapluie, il est relié à plusieurs autres espèces, à commencer par ses proies (Simberloff, 1998). Par conséquent l'une des principales menaces pesant sur la conservation du lion est un déclin de proies naturelles (Nowell et Jackson, 1996 ;

UICN/SSC, 2006). De nombreuses recherches ont été effectuées sur le lion en Afrique de l'Est toutefois il existe un manque d'information sur cette espèce en Afrique de l'Ouest.

C'est dans ce contexte que cette étude intitulée : « Modélisation de l'habitat du lion (*panthera leo leo*), de ses proies et détermination de son régime alimentaire au Parc national du Niokolo-Koba » a été initiée pour contribuer à la résorption de ces lacunes.

L'objectif global de cette étude est de contribuer à une meilleure connaissance du lion au PNNK afin d'améliorer son état de conservation.

Il s'agit spécifiquement de :

- Caractériser l'habitat potentiel du lion dans le PNNK ;
- Caractériser l'habitat des proies potentielles du lion dans le PNNK ;
- Déterminer la composition du régime alimentaire et les proies préférentielles du lion.

Ce document comprend trois grandes parties précédées par une introduction. La première partie aborde la synthèse bibliographique et les généralités sur le lion. La deuxième partie est consacrée à la présentation de la méthodologie adoptée, de la collecte et aux traitements des données. La troisième et dernière partie porte sur la présentation des résultats et des discussions. Une conclusion accompagnée de recommandations et de perspectives clôture ce document.

1. Synthèse bibliographique

1.1. Taxonomie et Biologie

Le nom scientifique des lions est *Panthera leo* et *Panthera leo leo* était utilisé comme appellation du Lion de Constantine (*Felis leo*). Carl von Linné, le fondateur du système international de classification, utilisait le terme de *Felis* en raison des ressemblances entre les lions et les chats domestiques. Plus tard, de grandes différences ont été découvertes entre les grands félins et les petits. De ce fait, on plaça tous les grands félins dans le genre *Panthera* (Bertram, 1978).

Dans l'espèce *Panthera leo*, 11 sous espèces ont été identifiées par Wozencraft (2005). Les lions de l'Afrique australe et orientale seraient génétiquement différents du reste de la population mondiale de lion (Dubach *et al.*, 2013, Barnett *et al.*, 2014). Cette différenciation est confirmée par des données génétiques par Bertola *et al.*, (2011, 2016). Sur la base de ces dernières études, Kitchener *et al.* (2017) dans le rapport final sur la classification des carnivores par le groupe de spécialistes des carnivores de l'UICN reconnaissent que deux sous espèces de *Panthera leo* : *Panthera leo leo* et *Panthera leo melonochaita*.

Selon la classification de Linné (1758), la taxonomie de *Panthera leo leo* s'établit comme suit :

- Règne : Animal
- Embranchement : Chordés
- Sous-embranchement : Vertébrés
- Classe : Mammifères
- Sous classe : Thériens
- Infra classe : Euthériens
- Ordre : Carnivores
- Sous-ordre : Feliformes
- Famille : Félidés
- Sous-famille : Pantherinés
- Genre : *Panthera*
- Espèce : *Panthera leo*
- Sous-espèce : *Panthera leo leo*

La longévité en vie sauvage du lion est d'environ 13-15 ans alors qu'elle peut atteindre 30 ans en captivité. Ce félin est capable de courir à 50 voire 60 km/h mais sur des distances assez courtes (Mammifères africains, 2023). La morphologie diffère légèrement d'un individu à un autre selon qu'il soit un mâle, une femelle, un juvénile ou d'une autre région.



Photo 1: Lion d'Afrique (Source : Terra, 2022)

Chez le mâle, la masse moyenne du lion peut être variable selon les zones géographiques où il se trouve. En effet les lions d'Asie sont plus petits que les lions d'Afrique (Morin-Garraud, 2001). Parmi ces derniers ceux de l'Afrique australe sont les plus grands (Mammifères africains, 2023). Ainsi les poids peuvent varier de 145 à 180 kg pour les lions d'Asie et de 150 à plus de 225 kg pour les lions d'Afrique. Le lion a une hauteur moyenne au garrot de 123 cm et peut mesurer 170 à 250 cm de longueur sans la queue. Cette dernière peut mesurer 90 à 105 cm et elle est pourvue à son extrémité d'une touffe caudale brune ou noire dans laquelle est dissimulé un éperon corné de 6-12 mm en forme de griffe (Morin-Garraud, 2001). La tête est large, le museau assez long, les oreilles courtes et arrondies. Les pattes sont assez longues et massives (Morin-Garraud, 2001). Le pelage est court et sa couleur varie du fauve clair au brun roussâtre foncé. De rares cas de lions blancs aux yeux pigmentés ont été rapportés exclusivement du Parc de Kruger en Afrique du Sud. Le dessous du corps est plus clair : poitrine, ventre et gorge. Chez les lions d'Asie, un pli de peau pendante parcourt toute la ligne médiane. La lèvre supérieure, le menton et le bord des yeux sont blancs, le dessus de l'angle interne de l'œil est rehaussé d'un trait noir vertical. La couleur de l'iris varie du marron à l'or selon l'âge et la lumière (Morin-Garraud, 2001).

L'arrière des oreilles est noir en bas et fauve en haut. La crinière commence à pousser à 18 mois et atteint sa taille définitive à 5-6 ans ; sa forme varie selon les régions : tantôt elle entoure la face et le cou et elle est courte ; tantôt elle atteint 25 cm et occupe tout le dessus de la tête, les joues, le cou, les coudes, les épaules, la poitrine et le ventre. Sa coloration varie également en fonction des régions et passe du fauve clair au noir. Les lions du PNNK ont de petites crinières.



Photo 2 : Lionnes d'Afrique (Source : Wendle, 2022)

Les femelles sont de 20 à 50 % plus petites que les mâles. La hauteur au garrot d'une lionne est de 107 cm et la longueur sans la queue peut aller de 140 à 175 cm. La femelle peut peser 120 à 182 Kg avec une queue d'une longueur pouvant varier de 70 à 100 cm. Selon Morin-Garraud (2001) les caractéristiques morphologiques sont quasiment les mêmes que chez le mâle à quelques exceptions près. En effet le dessous du corps est plus clair chez la femelle allant jusqu'au blanc et elle ne possède pas de crinière. En outre, la lionne est plus fine et plus légère, son ventre est plat et elle est élancée.

La gestation chez les lions dure 102 à 113 jours. A la naissance, les jeunes lions sont aveugles et immobiles. Les juvéniles sont dépourvus de crinière et de touffe caudale.

1.2. Aire de répartition

Au niveau mondial, les lions à l'état sauvage sont présents qu'en Afrique et en Asie. Le lion d'Asie ne vit plus que dans un ultime refuge : le parc national de la forêt de Gir dans l'État de Gujarat en Inde avec environ 650 individus (Kaushik, 2017). En Afrique du Nord, le lion de l'Atlas s'est éteint à l'état sauvage (Mammifères africains, 2023). Les grandes populations de

lions africains sont localisées dans les parcs nationaux du Kenya, de Tanzanie et d'Afrique du Sud et se font rares en dehors des zones protégées.

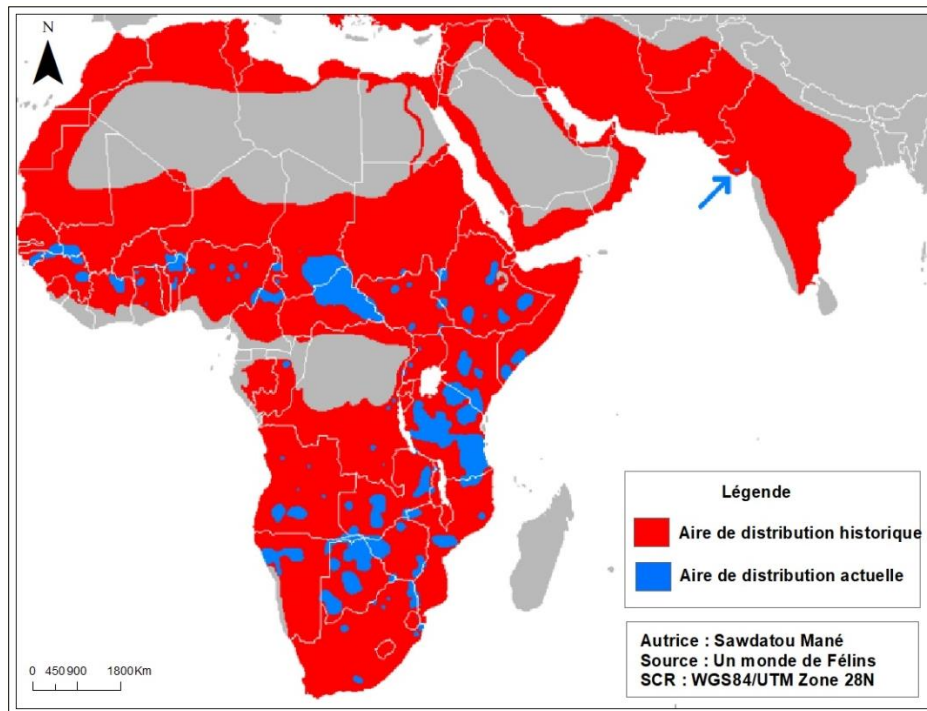


Figure 1: Aire de distribution du lion dans le monde (Source Un monde de félins, eline-world.e-monsite.com/pages/felins-en-danger/le-lent-declin-des-lions.html)

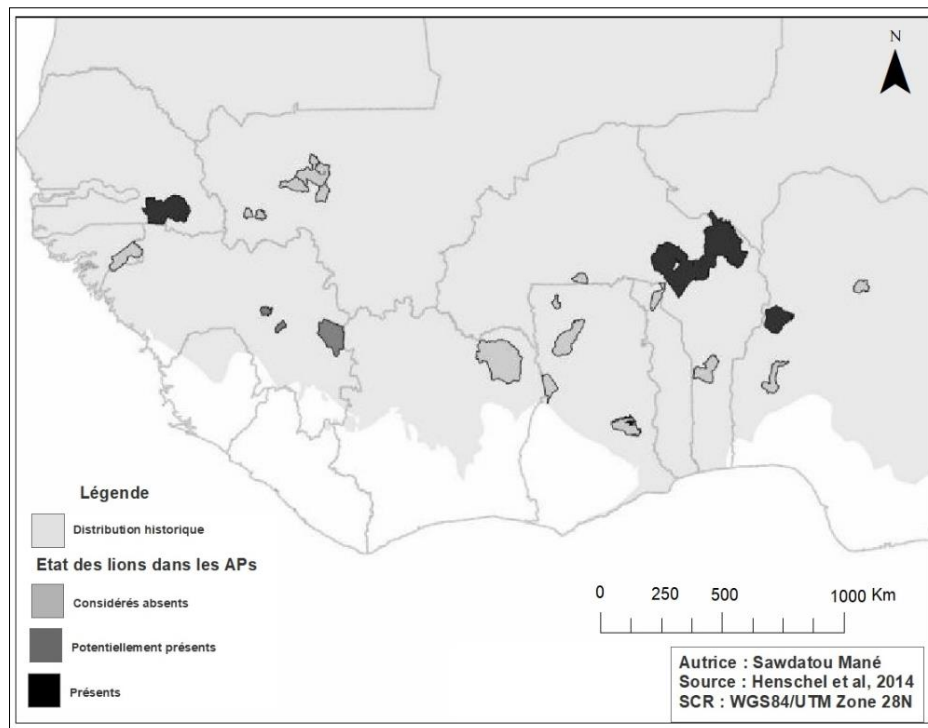


Figure 2 : Aire de distribution du lion en Afrique de l'ouest (Source : Henschel *et al* 2014)

En Afrique de l'Ouest, la population de lion est estimée entre 273 à 587 individus, et occupe une aire de répartition de 49 000 km² (Henschel *et al.*, 2015). La présence de l'espèce a été confirmé sur 4 des 21 Unités de Conservation du Lion (UCL) à savoir le PNNK au Sénégal ; le complexe WAP qui s'étend du Benin, au Burkina Fasso en passant par le Niger, constitué par les parcs nationaux du W, d'Arly et de Pendjari ; au Nigeria dans le parc national de Kainji Lake et dans le Parc National de Yankari Game (Henschel *et al.*, 2015). Le lion est potentiellement présent en Guinée (UCL du Parc National du Haut Niger et de la réserve faunique de Kankan) et au Ghana (Parc National de Mole) (Henschel *et al.*, 2015). Il reste considéré absent dans les autres zones protégées de l'Afrique occidentale. Étant donné que 40 à 60 % d'une population de lions se compose généralement d'individus immatures, donc il reste moins de 250 individus majeurs dans toute l'Afrique de l'Ouest dont plus de 90% se trouvent dans le complexe WAP selon Henschel *et al.* (2015).

1.3.Écologie

Selon Fournier (1994) excepté en Forêt de Gir, les lions n'aiment ni la forêt dense tropicale ni le désert. Ils vivent plutôt dans des paysages ouverts, semi-désertiques à humides, où les hautes herbes et les arbustes prédominent. Certains vivent en altitude mais ne dépassent jamais la limite des neiges à 4500 mètres. Dans cet habitat, ils aiment disposer de zones de détente tels que des bosquets ou des rochers pour se mettre à l'ombre. L'étendue du territoire varie de 8 à 400 km² selon la nature et l'abondance du gibier (Fournier, 1994). En général, les frontières sont délimitées par une rivière ou toute autre pièce d'eau, un bois, une butte, une dépression ou tout autre accident de terrain. En Afrique, l'habitat naturel du lion est donc principalement la savane, mais aussi les forêts décidues semi-ouvertes (forêt tropicale sèche) et les semi-déserts.

1.4.Éthologie

Les lions sont les seuls félins sociaux. Ils sont grégaires, territoriaux avec un régime matriarcal. Ils vivent en groupes permanents de quelques individus à plus d'une trentaine voire d'une quarantaine. Les groupes sont constitués de femelles (2 à 18) et de jeunes de différents âges (Mammifères africains, 2023).

Lorsque les lions sont rassasiés, ils peuvent se reposer à l'ombre durant de longues périodes (Wilson et Mittermeier, 2009) jusqu'à 20 à 21 heures par jour en moyenne (Schaller, 1972). Ils sont plutôt actifs en début et en fin de journée, et pendant la nuit pour éviter la chaleur de la journée (Wilson et Mittermeier, 2009 ; Estes, 2012). En effet, le moment où ils sont les plus actifs est la nuit notamment au cours des premières heures après le crépuscule et les 5 heures

précédant et suivant l'aurore (Morin-Garraud, 2001). Par nuit noire, il peut chasser et manger 6 à 11 heures d'affilée (Schaller, 1972). Ils ne se remettent en chasse que quand la faim les tiraille.

Selon Morin-Garraud (2001), les mâles sont rarement plus de 4 par groupe, la plupart du temps ils sont 2 à la tête du clan et de par leur morphologie imposante sont les garants de la sécurité du groupe. Quand ils ne dorment pas, ce qui leur laisse environ 4 heures par jour, ils patrouillent sur leur territoire, le défendent et le marquent pour s'assurer qu'aucun intrus ne viendra mettre en péril leur troupe qui est pour lui source de survie car elle lui apporte nourriture et reproduction (Morin- Garraud, 2001). Mais pendant que les femelles chassent, ils gardent les lionceaux avec les vieilles lionnes puis se joignent au festin.

Les déplacements des femelles ne consistent en général qu'à la recherche de la nourriture et à trouver un endroit ombragé où se reposer dans la journée. Les lionnes sont responsables de la vie au quotidien du groupe : elles chassent ensemble ou seules, elles s'occupent de l'éducation des jeunes, et parfois selon la taille du groupe et celle du territoire, il leur arrive de défendre une partie de ce dernier (Morin-Garraud, 2001).

1.5.Régime alimentaire

À 6 semaines les lionceaux goûtent leurs premiers aliments solides. Ils mangent de la viande à 3-4 mois mais ils ne seront définitivement sevrés qu'à 6 mois (Morin-Garraud, 2001).

Chez les adultes, on estime que la moitié de l'alimentation est chassée et que l'autre moitié est chapardée soit à un autre prédateur (léopard, guépard) soit à des charognards (hyènes, vautours). Mais on considère que la femelle est plutôt chasserresse alors que le mâle se révèle plutôt charognard. Ainsi quand un mâle mange une proie, dans 76% des cas, elle est arrachée à une femelle, 12% à un prédateur et 12% tuée par lui-même (Schaller, 1972). Les lions peuvent manger jusqu'à 35 kg (soit environ 20% de son poids) de viande en un repas sachant qu'ils doivent ingurgiter 5 à 7 kg par jour en moyenne pour survivre (Schaller, 1972). Un lion se contente toujours de la quantité nécessaire à son alimentation et ne fait pas de réserves.

La palette de chasse est très large puisqu'elle s'étend de la souris à l'éléphant. Mais ce sont les proies de taille moyenne qui ont la préférence. Le lion pesant 250 kg, il s'attaquera au maximum à des proies de 10 fois son poids (Rudnai, 1973).

Il leur arrive de consommer de l'herbe en cas de grande disette ou pour se soulager l'estomac. De plus, leur consommation d'eau est importante au niveau des points d'eau mais aussi en buvant l'eau présente dans la panse de leur proie (Sebbag, 1972). Pendant la saison des pluies,

l'eau ne manque pas mais en période sèche ils doivent la rechercher dans les lits des cours d'eau ou aux sources. Dans certaines régions, ils peuvent ainsi errer des jours sans boire (Bertram, 1980).

1.6.Importance du lion

Le lion peut être classé comme espèce phare en raison de son rôle symbolique et rituel incontestable dans les cultures traditionnelles et modernes (Simberloff, 1998). Les grands prédateurs contribuent en général au maintien d'écosystèmes sains en régulant le nombre de proies mais aussi en contrôlant les populations d'autres prédateurs (Krebs *et al.*, 1995 ; Terborgh *et al.*, 1999). La disparition des prédateurs entraîne fréquemment des changements dans la structure des communautés d'herbivores (Berger, 1999 ; Terborgh *et al.*, 2002). Les grands carnivores sont sensibles aux changements du paysage en raison de certains de leurs traits biologiques (faible densité de population, faible fécondité et capacité de dispersion limitée dans un habitat dense ou ouvert) (Cardillo, 2003). Les lions ont également une importance économique en raison du tourisme, de la chasse sportive et de leur utilisation en médecine traditionnelle (Nowell et Jackson, 1996). L'importance sociale et culturelle des lions a été décrite dans plusieurs communautés traditionnelles, par exemple au Kenya et au Bénin (Maddox, 2003 ; Sogbohossou, 2006). D'ailleurs il est l'emblème de la république du Sénégal.

1.7.Menaces sur le lion

Les principaux facteurs de déclin des lions sont la conversion à grande échelle de l'habitat, l'épuisement des proies en raison d'une chasse non durable et l'abattage de lions en représailles en raison d'un conflit homme-lion perçu ou réel (UICN, 2023). En Afrique de l'Ouest le lion a perdu 99% de son aire de répartition historique (Henschel *et al.*, 2015) et a connu un déclin sévère de 66% (Bauer *et al.*, 2016). Classés en danger critique d'extinction depuis 2014, les individus restants dans cette partie de l'Afrique sont en grande partie limités aux zones protégées. La gestion peu efficace de ces aires protégées conduit à un épuisement des réserves de proies et à la persécution des lions par les éleveurs, même à l'intérieur de ces zones officiellement classées (UICN, 2023). Dans le PNNK le braconnage, l'expansion de l'agriculture et l'incidence croissante des feux de forêt ont conduit l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) à ajouter le parc à sa liste du patrimoine mondial en péril en 2007. Ajouté à cela l'exploitation artisanale de l'or, les conditions de survie de certaines espèces à l'instar du lion sont fortement fragilisées (Wendle, 2022).

Cependant, des efforts considérables sont déployés pour stopper la perte de population et reconquérir des territoires. Les efforts de conservation connaissent un certain succès, comme l'augmentation des populations de lion dans le PNNK au Sénégal, et dans le Parc National de Gorongosa au Mozambique (Nicholson *et al.*, 2023).

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone d'étude

2.1.1. Présentation

Le PNNK se situe au Sud-Est du Sénégal, à cheval sur les trois régions administratives de Kolda, Kédougou et Tambacounda. Créé en 1954 il occupe une superficie de 913000 hectares

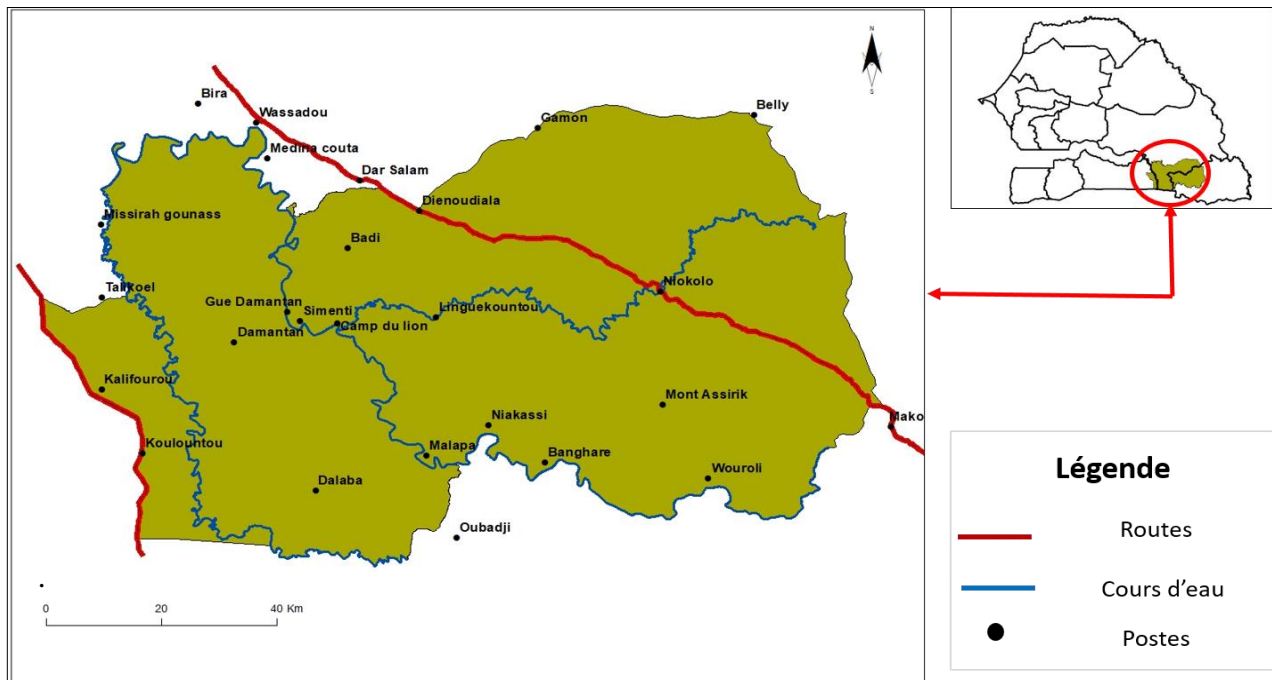


Figure 3: Carte du Parc national du Niokolo-Koba (Source :Mané, 2024)

Le parc est situé entre 12°30' et 13°20' de latitude Nord et entre 12°20' et 13°35' de longitude Ouest. Réserve de chasse à partir de 1926 (Madsen *et al*, 1996), forêt classée en 1951, puis réserve faunique en 1953, Niokolo-Koba a obtenu le statut de parc national en 1954. Il a été inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO et sur le réseau mondial des réserves de biosphère dans le cadre du programme Man and Biosphere (MAB) en 1981. En 2007, face aux menaces liées au braconnage, à la divagation du bétail, entre autres, le parc a été inscrit sur la liste des sites du patrimoine mondial en péril.

2.1.2. Climat

Selon le Centre mondial de surveillance pour la conservation de la nature (2011), le climat est de type soudanien avec une saison des pluies de cinq mois de fin juin à fin octobre et une saison sèche pour le reste de l'année. La pluviométrie annuelle moyenne varie 900 mm du nord 1200 mm au sud et la température moyenne de 25°C à 33°C (Gueye *et al.*, 2023). Les vents secs d'harmattan du nord-est peuvent intensifier les incendies en été.

2.2.3. Relief

L'altitude dans le parc varie de 16 à 311m (Mont Assirik). Cependant c'est une région relativement plate avec de petites collines atteignant environ 200 m et des plateaux de faibles hauteurs séparés par de larges plaines inondables (Centre mondial de surveillance pour la conservation de la nature, 2011). Elle est traversée par le fleuve Gambie et ses affluents qui coulent à travers de vastes dépressions de prairies qui sont inondées pendant la saison des pluies.

2.1.4.Sols et Géologie

Les sols sont généralement pauvres sols et de types fersiallitiques et seules les vallées fluviales et les dépressions de relief ont des sols alluviaux et hydromorphes (Pellaton, 2019). Dans certaines parties du parc, le sol n'est constitué que d'une couche de surface latéritique qui est parfois recouverte d'une mince couche d'argile ou même de couches nues (Nežerková *et al.*, 2004). L'ensemble de la zone repose sur un substrat rocheux granitique précambrien recouvert de grès cambrien qui affleure par endroits, avec quelques roches métamorphiques. La zone est couverte de formations superficielles de latérite (bowé) et de sédiments (Centre mondial de surveillance pour la conservation de la nature, 2011).

2.1.5.Hydrologie

Tous les cours d'eau de la zone d'étude appartiennent au bassin versant du fleuve Gambie, qui traverse le parc du Sud-est au Nord-ouest sur 200 km. Son régime est marqué par une période de hautes eaux (juillet à octobre) suivie d'une période de basses eaux (novembre à juin) (Rabeil, 2015). Ses principaux affluents sont Niokolo et Koulountou (Kane *et al.*, 2015). Avec des points d'eau permanents et temporaires, le parc fournit des sources d'eaux tout au long de l'année, même si les affluents du fleuve Gambie sèchent de façon saisonnière (Madsen *et al.*, 1996 ; Kane, 2014). En plus de ces flux, certains flux permanents et temporaires jouent un rôle important dans l'approvisionnement en eau et en herbe fraîche de la faune.

2.1.6.Faune

Le parc abrite près de 80 espèces de mammifères, plus de 330 espèces d'oiseaux, 38 reptiles, 20 des amphibiens, 60 espèces de poissons et de nombreuses espèces d'invertébrés selon le Centre mondial de surveillance pour la conservation de la nature (2011). Des carnivores tels que le lion (*Panthera leo*), le léopard (*Panthera pardus*), l'hyène tachetée (*Crocuta crocuta*), le chacal à flancs rayés (*Canis adustus*), le lycaon (*Lycaon pictus*), le serval (*Leptailurus serval*), le caracal (*Caracal caracal*), etc sont présents dans le parc. Les primates y sont représentés par le chimpanzé (*Pan troglodytes*), le babouin de Guinée (*Papio papio*), le singe vert (*Chlorocebus sabaues*), le singe patas (*Erythrocebus patas*), etc. Les herbivores y sont aussi observés comme l'élan de Derby (*Taurotragus derbianus*), l'hippotrague (*Hippotragus equinus*), le bubale major (*Alcelaphus buselaphus major*), le buffle de savane (*Syncerus caffer*), le cobe Defassa (*Kobus ellipsiprymnus defassa*) le céphalophe de Grimm (*Sylvicapra grimmia*), le céphalophe à flancs roux (*Cephalophus rufilatus*), le guib harnaché (*Tragelaphus scriptus*), le cobe des roseaux (*Redunca redunca*), le cobe de Buffon (*Kobus kob*) et l'ourébi (*Ourebia ourebi*). Les suidés sont représentés par le phacochère (*Phacochoerus africanus*) et par le potamochère (*Potamochoerus porcus*) (PNNK, 2016).

2.1.7.Flore

Situé dans le domaine des savanes boisées soudaniennes (Benoit, 1991), au total 1 500 espèces de plantes à fleurs sont recensées au Niokolo Koba, soit 62% des espèces de plantes à fleurs sénégalaises dans moins de 5% du pays (DPNS, 2000).

Selon Kane (2014) le couvert forestier du PNNK est en majeure partie composé d'espèces feuillues et il est représenté principalement par :

- Savane herbacée : caractérisée par une strate herbacée continue dominée par *Andropogon gayanus*.
- Savane arbustive : située dans les plateaux et les pentes des collines avec une strate herbacée continue parsemée d'arbustes. La famille végétale dominante est celle des Combrétacées.
- Savane arborée : également située dans les plateaux et les pentes des collines avec une couverture arborée de 5 à 25% (Adam, 1965) et une couche herbacée fermée et continue.
- Savane boisée : située dans les dépressions entre les collines et le long des vallées et composée d'arbres et d'arbustes qui couvrent 25 à 50 % (Adam, 1965). Les arbres peuvent atteindre 7 à 12 mètres.

- Forêt ouverte : située dans les plaines inondables de certaines rivières avec une couverture de sol de 50 à 75 %. Cette végétation est caractérisée par quelques espèces d'arbres dominantes qui atteignent parfois 15 mètres avec une prévalence d'espèces soudaniennes telles que *Pterocarpus erinaceus*.
- Forêt galerie : située dans les vallées humides avec de bonnes conditions pédologiques et hydrologiques représentant 78% de la galerie forestière sénégalaise (DPNS, 2000). Caractérisée par une grande diversité d'espèces végétales avec une prédominance d'espèces à feuilles persistantes, de lianes abondantes, de grands arbres, et une végétation dense. Elle occupe généralement la totalité des vallées ou les berges des rivières.
- Marais : caractérisés par des graminées annuelles et vivaces de plus de 25 cm de hauteur et inférieures à 150 cm.
- La prairie marécageuse est généralement située dans les étangs et mares des rives de la Gambie Le *Mimosa pigra* et le *Mitragina inermis* y forment des fourrées impénétrables qui empêchent les animaux d'accéder à l'eau (Diouf, 2022).

2.2.Matériel biologique

Le matériel biologique de cette étude est le lion (*Panthera leo leo*) et ses fèces.

2.3.Méthodologie

2.3.1. Collecte de données

2.3.1.1.Modélisation de l'habitat du lion et de ses proies dans le PNNK

La modélisation de l'habitat du lion et de ses proies a été faite à partir de leurs points de présence ou d'occurrence dans le PNNK et des variables susceptibles d'influencer leurs distributions.

– Points d'occurrence du lion et de ses proies dans le PNNK

Dans cette étude les points d'occurrences du lion ont été collectés à partir des observations (opportunistes ou par suivis) des agents du parc de 2015 à 2020 et des guides touristiques de 2015 à 2021, mais également grâce aux pièges photographiques de 2023. Ceux des proies proviennent uniquement des pièges photographiques de 2023.

Le problème de la faible estimation des populations animales était devenu un défi pour les écologistes et les gestionnaires de la faune pendant des décennies (Caughley, 1977). Une grande variété de domaines et d'analyses des approches ont été développées et affinées (Krebs, 1999 ; Long *et al*, 2008), mais l'utilisation de pièges photographiques pour étudier et surveiller la faune a considérablement augmenté ces dernières années (O'Connell *et al.*, 2011). La

méthodologie des pièges photographiques est maintenant utilisée pour évaluer la répartition, l'abondance de la faune, les comportements et structures communautaires (Rovero *et al.* 2013 ; Meek *et al.*, 2014).

En 2023, 220 pièges photographiques ont été installés dans le PNNK (2km x 2km) (Figure 4). Les modèles de pièges photographiques utilisés sont : V7 (n = 107), V7-AA (n = 20), V8 (n = 59) et Bushnell (n = 34). Pour un meilleur recensement des grands carnivores, l'installation sur les pistes a été privilégiée. Des types d'habitats stratégiques ont été choisis tel que les savanes (boisée, arbustive, arborée), les forêts de galerie, les forêts riveraines, les lits de rivières, les bambous ouverts et les zones inondables.

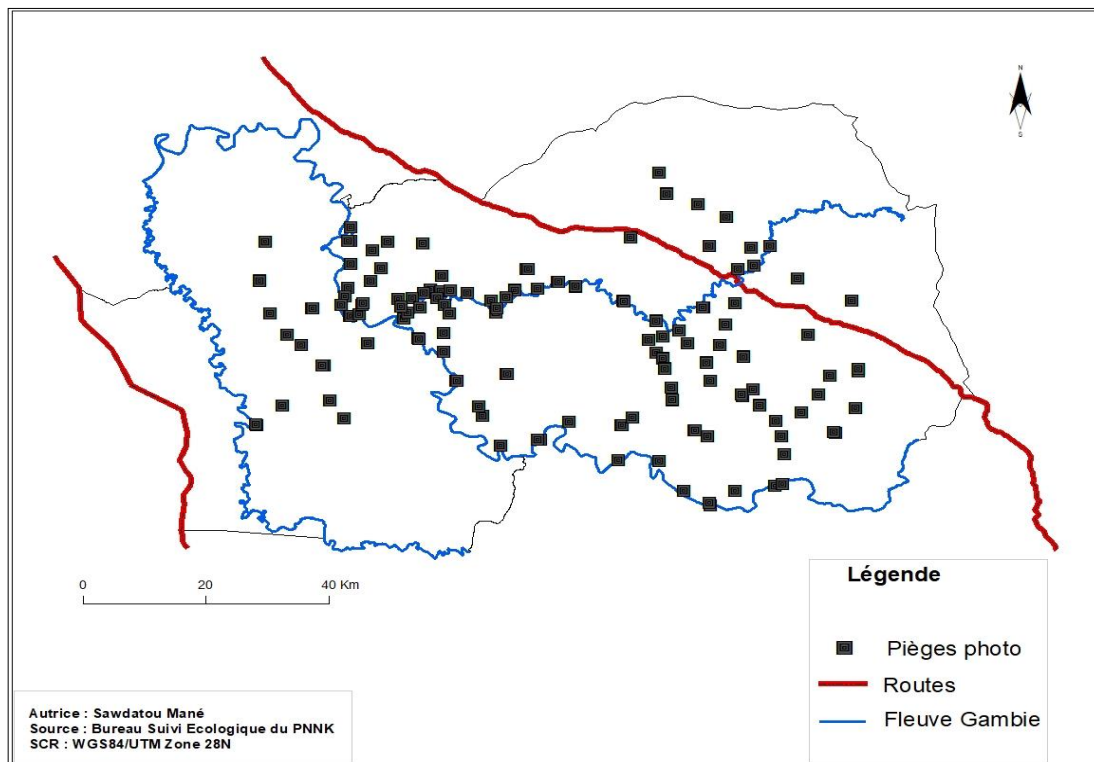


Figure 4: Emplacements des pièges photographiques de 2023

– **Variables pour la modélisation de l'habitat du lion et de ses proies dans le PNNK**

L'ensemble des variables environnementales qui influencent l'espèce directement et indirectement forment la niche écologique (Martineau, 2020). En effet la niche écologique est l'ensemble des conditions nécessaires pour que le taux de naissances d'une espèce soit égal ou supérieur à son taux de survie, donc pour qu'une population survive (Chase et Leibold, 2003).

Lorsque les composantes de la niche écologique d'une espèce sont déterminées, il devient alors possible de modéliser celle-ci par un procédé que l'on appelle la modélisation de la distribution

des espèces (MDE), qui utilise les composantes principales de la niche écologique d'une espèce pour en déterminer la présence en un endroit particulier (Martineau, 2020).

Lors d'une modélisation des grands carnivores (lion d'Afrique, léopard d'Afrique et hyène tachetée) en Tanzanie, Abade *et al* (2014) a décrit diverses variables environnementales indépendantes qui influencent la répartition de ces espèces. Parmi ces facteurs étaient les plus influents : les précipitations annuelles, la distance par rapport aux masses d'eau et le type d'habitat. D'autres facteurs comprenaient l'altitude, la distance aux villages et la géologie. Cependant, dans notre étude, 3 groupes de variables ont été utilisées :

- Des variables environnementales : l'élévation, les précipitations annuelles, l'Indice de Végétation par Différence Normalisée ou Normalized Vegetation Difference Index (NDVI), la distance par rapport aux cours d'eau et les types d'habitat
- Des variables anthropiques : le braconnage, la divagation du bétail
- Une variable démographique : la disponibilité des espèces de proies.

Les coordonnées géographiques sur le braconnage de 2015 à 2023, la divagation du bétail ont été obtenues grâce à la base de données du PNNK. Les variables bioclimatiques sur les précipitations annuelles et l'élévation de 1970 à 2000 ont été obtenues sur Wordclim (v. 2.1 <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>) (Fick et Hijmans, 2017). La disponibilité de 12 espèces pouvant être potentiellement des proies du lion a été déterminée après exploitation des photos pièges de 2023. Il s'agit de : l'éland de Derby (*Taurotragus derbianus*), l'hippotrague (*Hippotragus equinus*), le bubale major (*Alcelaphus buselaphus major*), le buffle de savane (*Syncerus caffer*), le cobe Defassa (*Kobus ellipsiprymnus defassa*) le céphalophe de Grimm (*Sylvicapra grimmia*), le céphalophe à flancs roux (*Cephalophus rufilatus*), le guib harnaché (*Tragelaphus scriptus*), le cobe de Buffon (*Kobus kob*), l'ourébi (*Ourebia ourebi*), le phacochère (*Phacochoerus africanus*) et le babouin de Guinée (*Papio papio*). Le NDVI a été calculé à partir d'image de Landsat 8 obtenues sur USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Une couche vectorielle sur le réseau hydrographique du PNNK sur le fleuve Gambie et de ses affluents (Koulountou et Niokolo) constituent la variable par rapport aux cours d'eau. La couche vectorielle du Sénégal oriental sur les types d'habitats, a été obtenues grâce aux travaux de Gray Tappan en 2015.

Cette modélisation de l'habitat du lion dans le parc est accompagnée de celles de ces potentielles proies. Elles seront faites avec les mêmes variables à l'exception de la disponibilité des proies.

2.3.1.2. Analyse du régime alimentaire du lion dans le PNNK

Quantifier les régimes alimentaires des prédateurs est une étape essentielle pour comprendre non seulement l'écologie des prédateurs, mais aussi l'influence que les prédateurs ont sur leurs populations de proies (Radloff et Dutoit, 2004 ; Smith, 2008). Les avancées récentes de la technologie des GPS a permis des observations non invasives des carcasses et l'analyse fécale pour acquérir de plus grandes connaissances sur le régime alimentaire des grands carnivores (Bacon, 2011 ; Tambling, 2012).

Dans le but de déterminer les espèces de proies potentielles et préférentielles du lion dans le PNNK, nous avons collecté des crottes.

Dans le parc nous avons sillonné avec l'aide des agents forestiers les zones potentielles de présence des lions. Les excréments du lion sont gros et en forme de saucisse, avec une coloration sombre indiquant une consommation de viande et une coloration claire indiquant une consommation d'os (Walker, 1996).



Photo 3: Fèces de lion collecté dans le PNNK (Source : Gueye, 2018)

Les fèces du lion ont été donc identifiés à l'aide de la description de Walker (1996) et de l'expérience des agents forestiers. Chaque échantillon est photographié et mis dans un sachet. L'heure, la date, les coordonnées obtenues à l'aide d'un GPS (Garmin) et la description du milieu où l'échantillon a été trouvé seront notés sur une fiche qui sera étiqueté au sachet. Pour

de meilleurs résultats, nous avons ajoutés à nos échantillons, 21 fèces issus d'une campagne de collecte de 2018.

2.3.2. Traitement et analyse des données

2.3.2.1. Modélisation de l'habitat du lion et de ses proies dans le PNNK

Pour modéliser l'habitat du lion dans le parc, ainsi que celui de ses potentielles proies dans le Parc National du Niokolo Koba, la version 3.4.4 du logiciel MaxEnt (Maximum Entropy) est utilisée. Le principe de maximisation de l'entropie est d'approcher une distribution de probabilité inconnue par la distribution de probabilité qui maximise l'entropie et qui satisfait un ensemble de contraintes relatives aux propriétés, connues partiellement, de la distribution à estimer (Moua, 2017). L'outil Préviation de présence seule (MaxEnt) utilise une approche d'entropie maximale (MaxEnt) pour estimer la probabilité de présence d'un phénomène. MaxEnt est un logiciel de modélisation de l'habitat spécialisé pour les bases de données de type présence-seulement, c'est à-dire qui ne contiennent pas de données d'absence (Elith *et al.*, 2006). Il nécessite des données georeferenciées d'occurrence d'une espèce sur un territoire donné et un ensemble de variables environnementales (Elith *et al.*, 2011). À partir de ces informations, il modélise l'aire de distribution de l'espèce. Le résultat obtenu est une distribution de la probabilité de l'occurrence d'un individu de l'espèce dans chaque cellule du territoire (Phillips *et al.*, 2008).

La modélisation de l'habitat du lion par MaxEnt s'est fait sous la base de deux éléments : l'échantillon (Sample) qui représente les données d'occurrence en format csv du lion et les variables en format ASCII, toutes ayant la même emprise et résolution spatiale. Pour ce faire nos variables ont dû subir une série de traitement pour pouvoir être utilisables par le logiciel.

- Préparation des points d'occurrence et des variables

Les images des pièges photographiques ont été analysées avec le logiciel PIE Picture Information Extractor (v7.45 ; <https://www.picmeta.com>). Il importe des images de carte mémoire sans perte de qualité, et permet d'obtenir des métadonnées telles que le nom, la date, l'heure d'enregistrement et les coordonnées géographiques. Cependant dans notre étude les coordonnées géographiques ont été obtenues grâce à la fiche d'installation des caméras de 2023 du PNNK.

Sur une durée de cinq mois (Février, Mars, Avril, Septembre et Octobre) 74072 images ont été obtenues grâce aux photo pièges. Elles ont été sauvegardées sur Excel (v2016) sous forme d'un

tableau nommé *Dépouillement_2023*. Dans ce tableau, les types d'observations (Faune, Avifaune, Vent, Véhicule, Humain) y sont notées pour chaque image. Lorsqu'une espèce est capturée en photo, son nom scientifique, le nombre d'individus, son sexe et l'âge (adulte, subadulte, juvénile) sont renseignés.

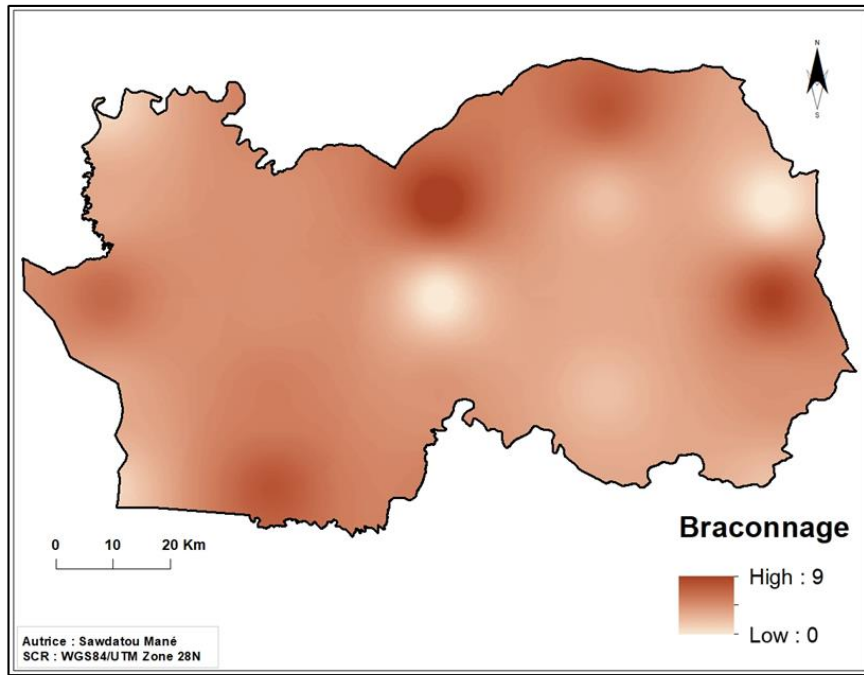
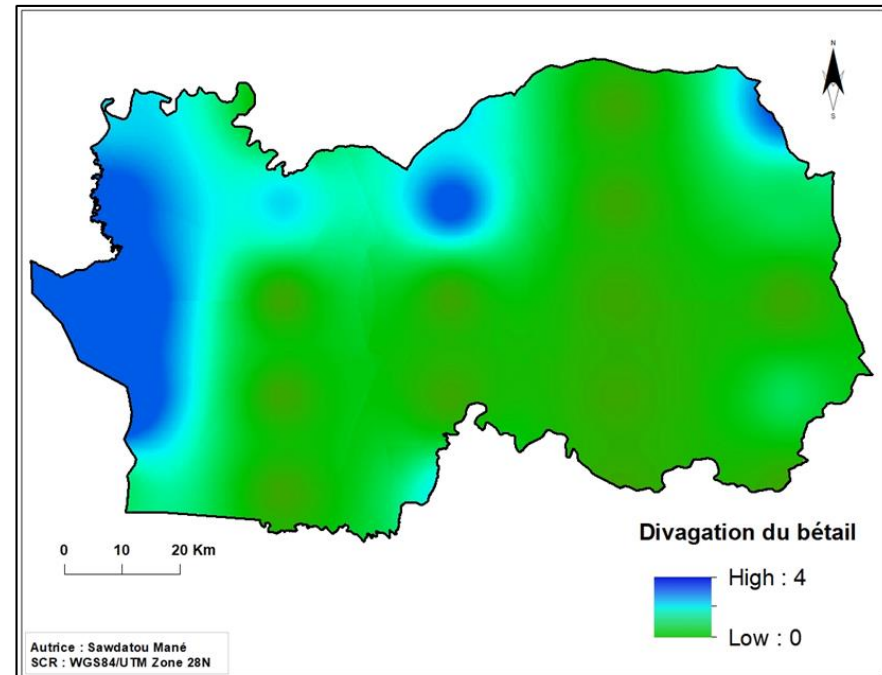
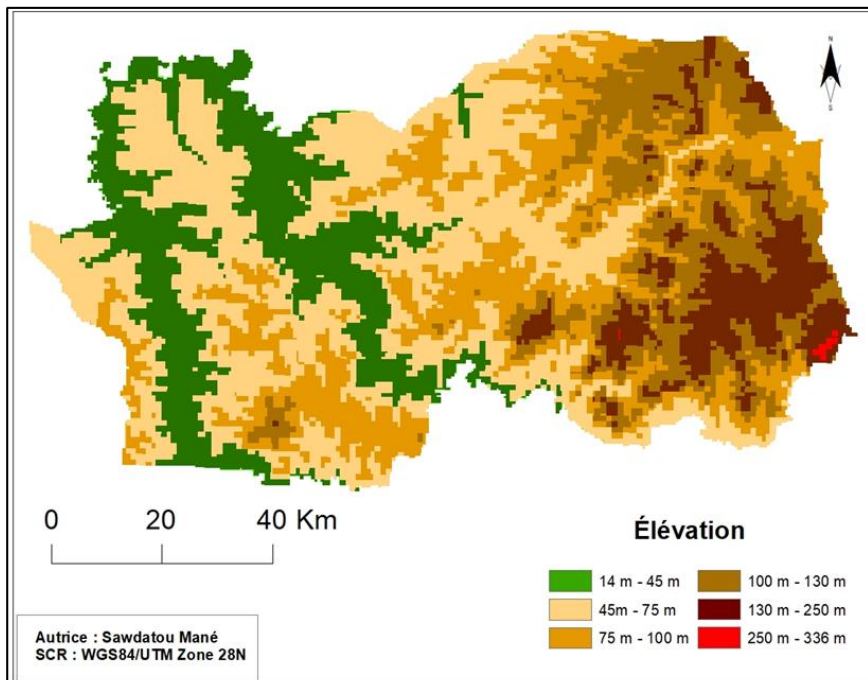
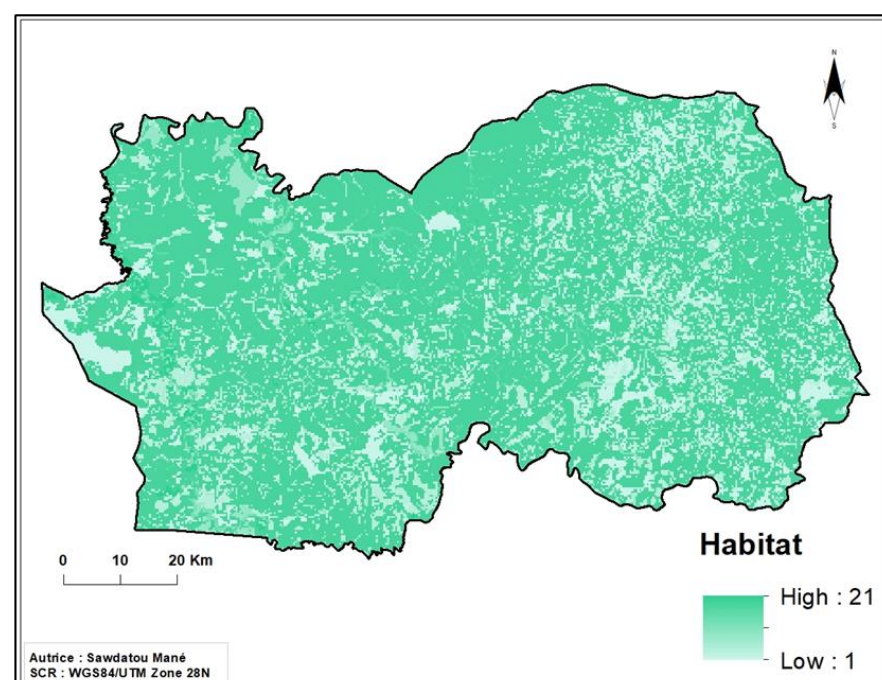
A l'aide de l'outil Edition et filtrer sur Excel, toutes les cellules relatives au lion ont été extraites de *Dépouillement_2023*. Elles sont par la suite couplées avec le fichier d'installation des pièges photographiques sur une autre feuille Excel pour obtenir les coordonnées du lion représentant ses points de présence dans le PNNK. Ce fichier est enregistré sous format csv.

Le même procédé a été repris pour obtenir les points d'occurrence des potentielles proies du lion.

Les variables ont été traitées sur différents logiciels afin de pouvoir être utilisées sur MaxEnt. Pour la disponibilité des proies, nous avons déterminé le nombre de proies pour chaque camera sur Excel. Pour ce faire sur *Dépouillement_2023* nous avons extrait les cellules des proies choisies ainsi que les caméras et leurs coordonnées où elles ont été observées. Sur une autre feuille Excel nous avons fait le décompte de toutes les espèces présentes dans chaque camera, chaque espèce comptant pour 1.

Les variables ont été par la suite traitées à l'aide du logiciel Système d'Information Géographique (SIG) ArcMap (v10.3, www.esri.com). Pour la conversion en raster par l'outil Interpolation des variables telles que le braconnage, la divagation du bétail et la disponibilité des proies, nous avons considéré respectivement le nombre d'infraction par secteur, le nombre d'intrusion par secteur et le nombre d'espèce de proies disponible par secteur. La distance par rapport aux cours d'eau a été converti en raster en calculant la distance euclidienne en se basant sur le shapefile du fleuve Gambie et de ses deux affluents. Le NDVI a été calculé à partir des bande 4 et bande 5 des images satellitaires (Landsat 8) du PNNK avec l'outil Map algebra. Le raster sur les types d'habitat a été obtenu en interpolant la couche vectorielle issue des travaux de Tappan (2015). Les données sur l'élévation et les précipitations annuelles sont quant à elles déjà sous format raster.

À noter que tous les rasters créés ont la même résolution spatiale (100 m x 100 m), tous projetés au système de projection géographique WGS84 UTM Zone 28 N. Ils ont été ensuite convertis en format ASCII comme illustrés dans la Figure 5.

A**B****C****D**

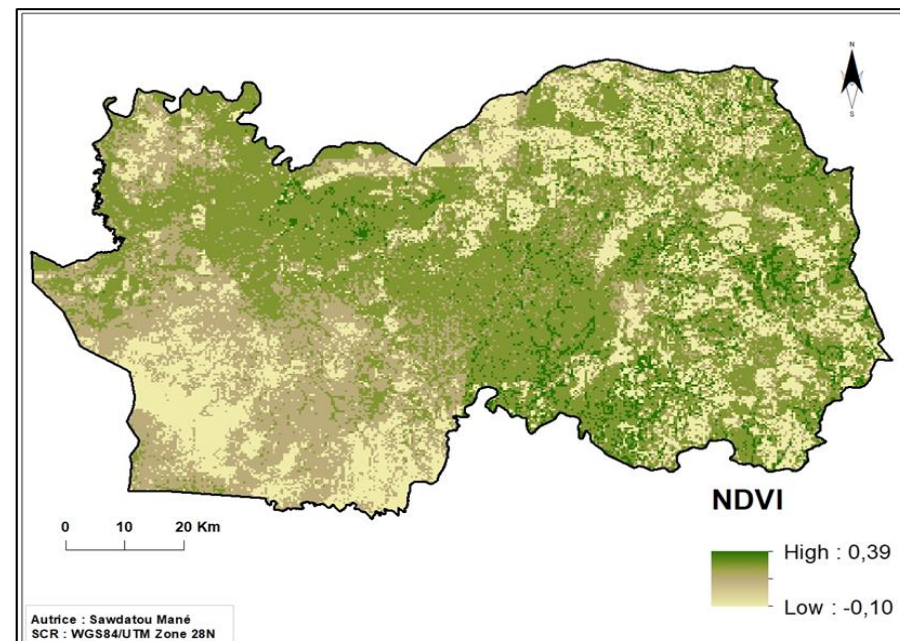
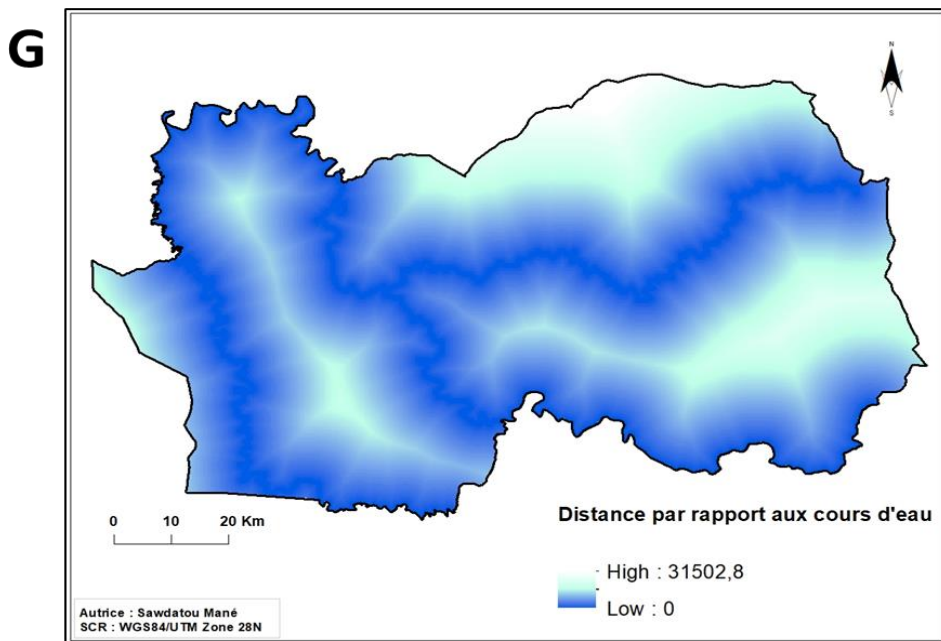
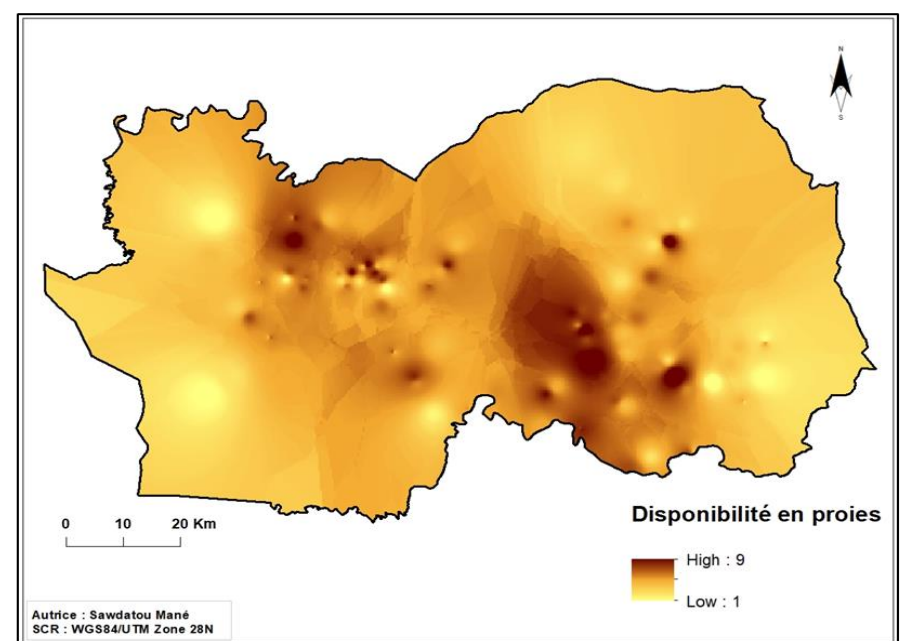
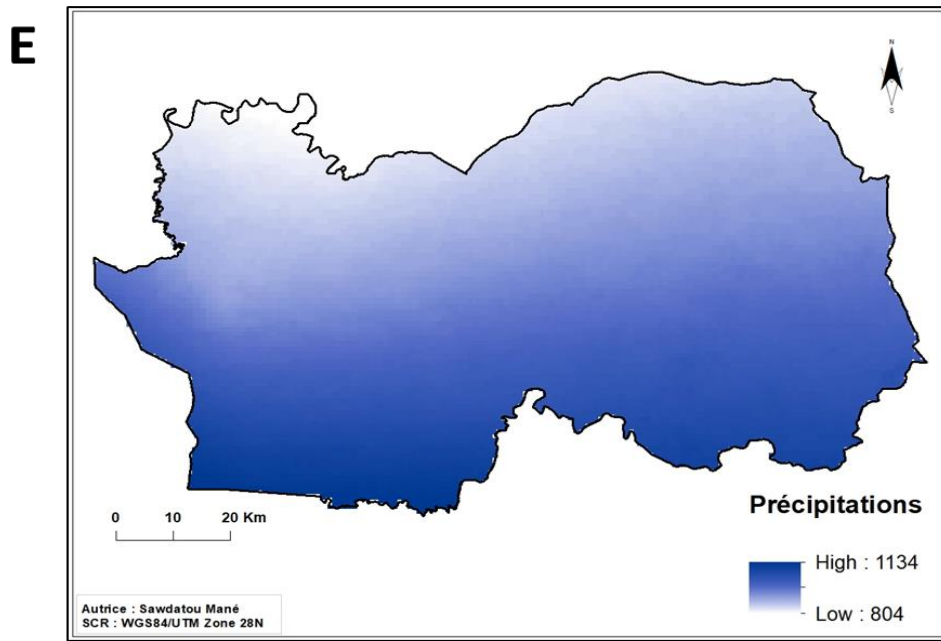


Figure 5 : Représentation des variables utilisées pour la modélisation du lion dans le PNNK. A. Braconnage (Nombre d'infractions par secteur), B. Divagation du bétail (Nombre d'intrusions par secteur), C. Élévation (m), D. Type d'Habitat, E. Précipitations annuelles (mm), F. Disponibilité des proies (Nombre d'espèce de proie par secteur), G. Distance par rapport aux cours d'eau (m), H. NDVI

– Processus de la modélisation sur MaxEnt

Tous les modèles ont été lancés sur MaxEnt avec 30% de pourcentage de test aléatoire et 10 répétitions sous-échantillonnées. Toutes les autres valeurs ont été laissées par défaut. Les performances de chaque modèle indépendant ont été évaluées en établissant la Courbe Caractéristique d'Opération dite ROC (Receiving Operator Characteristic), abrégée en Area Under the Curve (AUC) (Jiménez-Valverde *et al.*, 2008). La courbe ROC est calculée à partir des valeurs de sensibilité et de spécificité du modèle (Abade *et al.*, 2014). L'AUC varie de 0,5 (aléatoire) à 1,0 (discrimination parfaite), fournissant une estimation fiable du modèle fitness car il compare la probabilité d'occurrence avec les données de présence réelles utilisées comme référence (Thuiller *et al.*, 2005, Lobo *et al.*, 2008). Selon Swets (1988), le modèle est mauvais lorsque $AUC < 0,75$, passable pour $0,75 \leq AUC \leq 0,90$ et bon si $AUC > 0,90$. L'aire sous la courbe ROC traduit le pouvoir discriminant du modèle. Plus la courbe s'écarte de la bissectrice, meilleure est la prédiction.

Les résultats de la modélisation avec MaxEnt a permis également de savoir les variables qui influencent le plus le modèle avec le Modèle Linéaire Généralisé (MGL). Le MGL est un fichier Excel qui nous renseigne sur la contribution relative, l'importance de permutation et le test de jackknife de chaque variable sur la distribution du lion et de ses proies.

La contribution relative de chaque variable renseigne sur sa part de la construction du modèle. Son importance de permutation indique la réduction du pouvoir prédictif du modèle lorsque les valeurs de cette variable sont aléatoirement permutées entre les points du background et ceux de présence. Une valeur élevée indique une grande importance de la variable concernée (Moussa *et al.*, 2022). Cette permutation suggère que l'ajout de ces variables prédictives a entraîné une forte augmentation du pouvoir prédictif du modèle.

Le test de jackknife révèle les variables qui présentent les meilleurs gains et qui semblent avoir les informations les plus utiles lorsqu'ils sont utilisés isolément dans le modèle. Il indique également celles qui réduisent le plus le gain quand elles sont omises, ce qui semble procurer au modèle des informations qui ne sont pas présentes dans les autres variables.

Les rasters issus de la modélisation l'habitat du lion et de ses potentielles proies ont été classés suivant Abade *et al.* (2014) en deux classes d'adéquation ($> 50\%$ et $> 67\%$) sur ArcMap (v10.3, www.esri.com). Les superficies avec une adéquation $> 50\%$ correspondent aux habitats favorables et celles avec une adéquation $> 67\%$ sont considérées comme très

favorables. Nous avons par la suite déterminé les aires des habitats favorables et très favorables du lion.

2.3.2.2. Analyse du régime alimentaire du lion dans le PNNK

– Composition du régime alimentaire du lion dans le PNNK

L'identification des proies s'est faite à partir des poils d'espèces consommées présents dans les crottes. Ainsi nous avons obtenu les caractéristiques du modèle de l'échelle cuticulaire créé par les écailles kératinisées qui laissent une empreinte unique (Dreyer, 1966 ; Brunner & Coman, 1974 ; Keogh, 1983). Pour obtenir ces empreintes nous avons procédé au protocole de Beveridge et van den Hoogen (2012). Chaque échantillon de crotte a été écrasé afin de pouvoir récupérer les poils. De manière minutieuse, les poils ont été récoltés sur les crottes à l'aide d'une pincette. Afin d'éviter toute forme de décoloration, ils ont été lavés avec de l'eau distillée au lieu de l'éthanol pendant 5 minutes, rincés avec de l'alcool à 96% pendant 5 minutes et séchés sur du papier filtre. Les lames de cuticules ont été préparées en imbibant 1,7 grammes de gélatine et 40 ml d'eau déminéralisée pendant 5 minutes. La solution a été par la suite placée sur un agitateur magnétique chauffante (65°C) (Photo 4, Annexes) jusqu'à ce que la gélatine soit complètement dissoute. Une fine couche de gélatine a été ensuite étalée sur une lame de microscope et laissée sécher pendant 5 minutes. Les poils ont été placés sur la couche de gélatine et laissés jusqu'à ce que la gélatine soit complètement sèche (minimum 60 minutes). Lorsque la gélatine est sèche, les poils ont été retirés avec des forceps et stockés dans des sacs à fermeture éclair. Les empreintes de cuticules ont été photographiées au microscope optique. Plusieurs photographies (Photo 5, Annexes) ont été prises de la base vers la pointe des poils afin que le changement du motif de la cuticule le long des poils soit clairement visible avec le microscope Zeiss Axioskop (Photo 4, Annexes). Les images ont ensuite été comparées avec les collections de référence par Beveridge et van den Hoogen (2012) et Tol et Bakker (2014) pour déterminer l'espèce d'où provient le poil.

La composition du régime alimentaire du lion a été déterminée par la fréquence d'occurrence (FO) et la biomasse moyenne consommée pour chaque proie.

FO a été calculée selon (Klare *et al.*, 2011) par la formule suivante :

$$FO = \frac{N_i}{N_{total}} \times 100$$

N_i étant le nombre de fois où un poil d'une proie spécifique est apparu dans les échantillons et N_{total} le nombre total de poils de proies identifiées.

Pour déterminer la biomasse moyenne de chaque proie consommée par le lion dans le PNNK la régression suivante a été utilisée (Ackerman *et al.*, 1984) :

$$y = 1,98 + 0,035x$$

y est le poids de la proie consommée par excréments (kg/excréments) et x est la masse corporelle moyenne de la proie (kg). Suivant White (1994) et Pellaton (2019), le poids d'un individu moyen d'ongulé a été calculé comme le poids de 2,5 individus divisés par trois (en supposant qu'un mineur a environ le demi-poids d'un adulte). La masse corporelle d'un individu moyen a été calculée comme 75% de la masse corporelle adulte moyenne. Toutes les figures de masse corporelle sont tirées de Gueye et Ndao (2017) et de Kingdon (2016).

– Analyse de la préférence du lion dans le PNNK

L'analyse de la préférence a été calculée avec l'indice de Jacobs (1974).

$$D = \frac{r - p}{r + p - 2rp}$$

L'indice de Jacobs compare la relation entre la proportion relative de chaque espèce de proies dans la crotte r et leur abondance relative individuelle p dans la zone étudiée. Dans notre étude les abondances relatives utilisées proviennent des travaux de Pellaton (2019). Les valeurs de D varient de -1 (évitement maximal) à 1 (préférence maximale) et 0 qui indique aucun évitement et aucune préférence (Jacobs, 1974).

3. Résultats et discussions

3.1. Résultats

3.1.1. Modélisation de l'habitat du lion dans le PNNK

Dans cette étude 198 points d'occurrences du lion ont été utilisés. Les 158 points proviennent des observations (opportunistes ou par suivis) des agents du parc et des guides touristiques. Les 40 points restant ont été obtenus grâce aux pièges photographiques de 2023.

3.1.1.1 Performance du modèle développé

Les résultats obtenus sur la précision de la prédiction du modèle d'habitat du lion dans le PNNK ont montré une valeur de l'AUC égale à 0,963 (Figure 6). Le pouvoir prédictif du modèle est donc excellent.

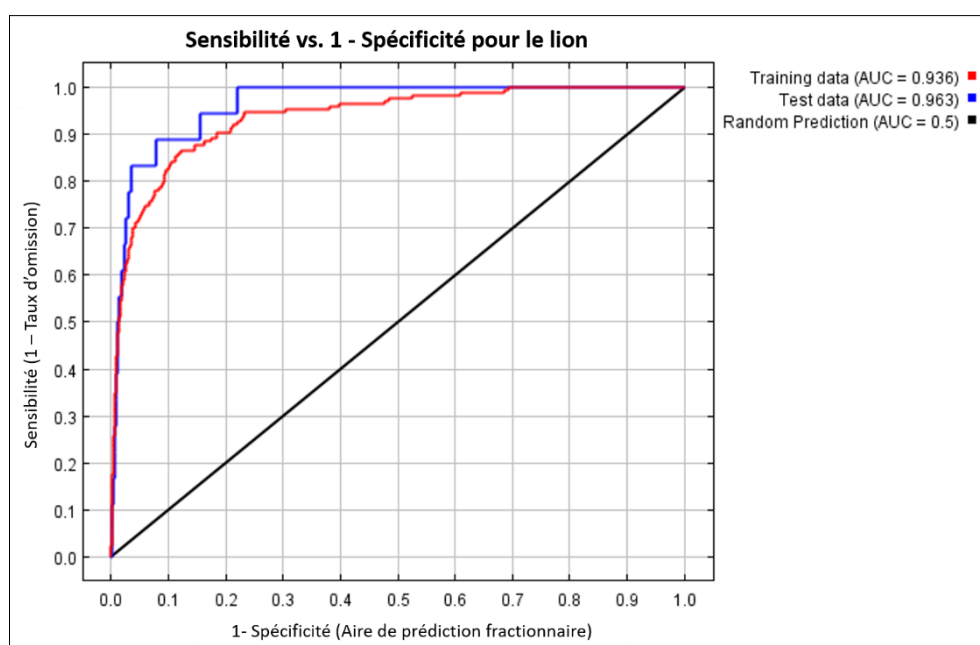


Figure 6 : Résultat du calcul de l'AUC, Aire Sous la Courbe Caractéristique d'Opération (ROC)

3.1.1.2 Contribution relative des variables

Les résultats de la modélisation montrent que les variables qui contribuent le plus à la distribution du lion dans le parc sont l'élévation (26,17 %), les précipitations annuelles (25,72 %) et la disponibilité des proies (21,84 %). La contribution de la variable habitat reste assez faible (2,66%). Cependant les types d'habitat préférés par les lions sont les carrières abandonnées, les savanes arbustives, les zones proches des plans d'eau, les galeries forestières, les forêts claires des vallées et les bowé et prairies herbeuses (Figure 14, Annexes). Le NDVI constitue la variable qui contribue le moins avec 0,97% (Tableau 1).

L'analyse de l'importance de la permutation (Tableau 1) révèle que les précipitations annuelles (27,40 %), la disponibilité des proies (15,62 %), le braconnage (15,68 %) et la divagation du bétail (15,01 %) sont les principales variables ayant le plus contribué à la construction du modèle.

Tableau 1: Contributions relatives et importance de la permutation en (%) des variables.

Variables	Contributions (%)	Permutations (%)
Braconnage	7,24	15,68
Divagation du bétail	7,43	15,01
Elévation	26,17	14,03
Habitat	2,66	2,62
Distance par rapport aux cours d'eau	7,92	9,14
NDVI	0,97	0,47
Précipitations	25,72	27,40
Disponibilité des proies	21,84	15,62

Le test de Jackknife (Figure 7) révèle que l'élévation (0,81), le braconnage (0,67) et les précipitations annuelles à (0,66) sont les prédicteurs environnementaux qui présentent les meilleurs gains lorsqu'ils sont utilisés isolément dans le modèle. Les gains de disponibilité des proies (0,48), de la distance par rapport aux cours d'eau (0,51) et de l'habitat lors que ces variables sont utilisées isolement sont assez faibles. Les modèles ayant utilisés isolement la divagation du bétail (0,10) et le NDVI (0,12) présentent les plus faibles gains. Les précipitations annuelles (1,58) et la disponibilité des proies (1,64) sont les variables qui réduisent le plus le gain. Elles semblent procurer au modèle des informations qui ne sont pas présentes dans les autres variables. L'omission des autres variables entraine de légères diminutions du gain. Celle du NDVI (1,79) n'entraine presque aucune réduction du gain.

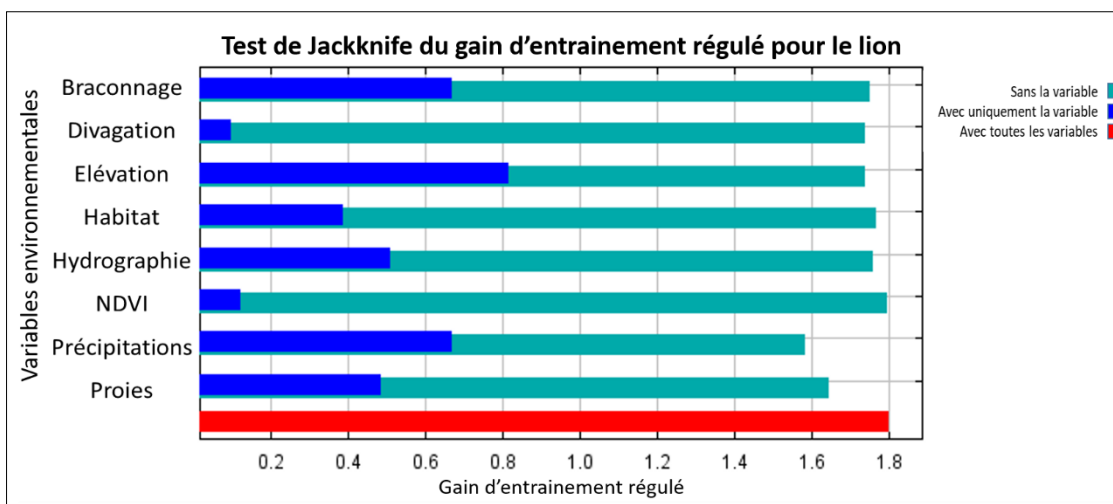


Figure 7: Résultats du test Jackknife sur la contribution des variables sélectionnées à la prédiction de l'aire de distribution du lion dans le PNNK

La combinaison des résultats du Tableau 2 et Figure 7 indique que les variables qui influencent le plus le modèle dans notre étude sont celles avec les plus grands pourcentages de contribution et de permutation telles que l'élévation (26,07%), les précipitations annuelles (25,72%), la disponibilité des proies (21,84%), le braconnage (15,68%) et la divagation du bétail (15,01%).

3.1.1.3 Réponses écologiques du lion en fonction des variables étudiées

La probabilité de présence du lion dans le PNNK est plus forte dans les secteurs avec une élévation de 25 à 30 m (Figure 8).

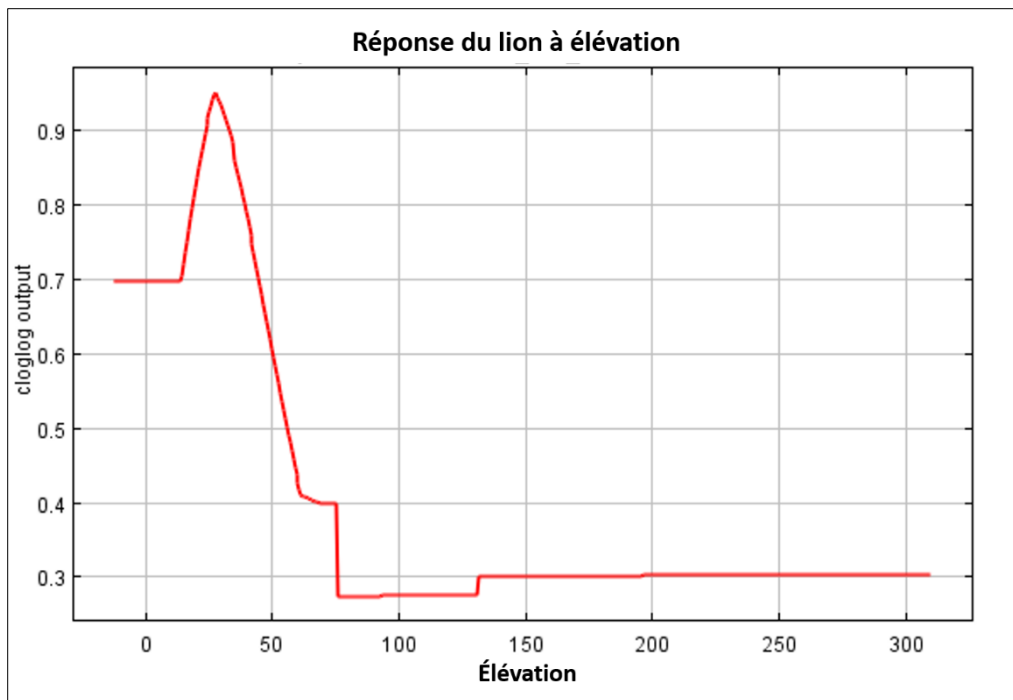


Figure 8 : Réponse écologique reflétant la dépendance de l'adéquation prédite par rapport à l'élévation (m)

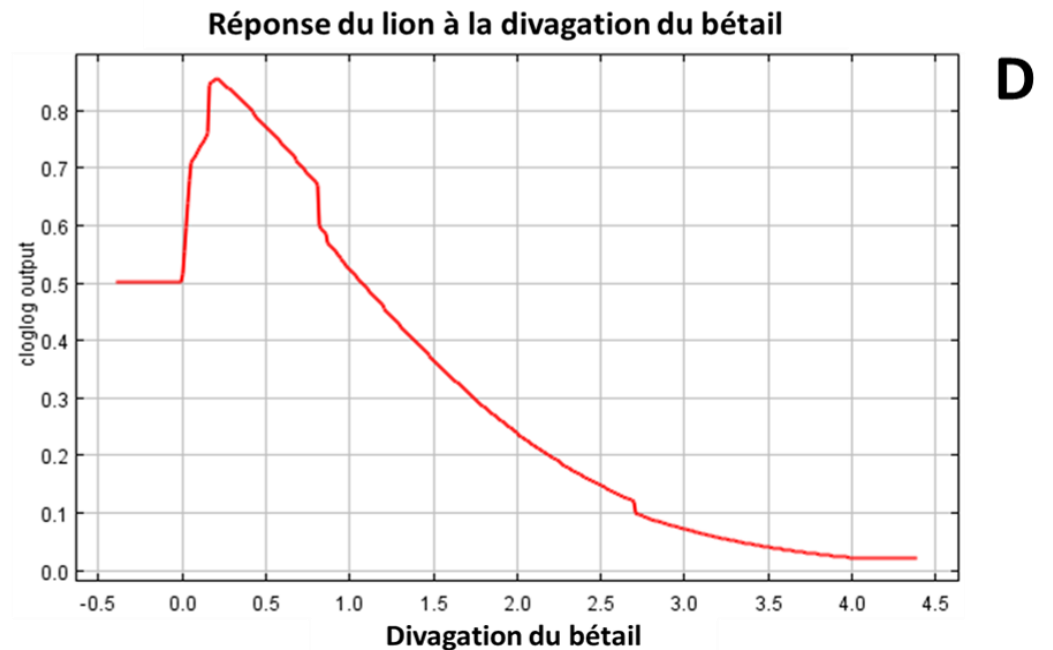
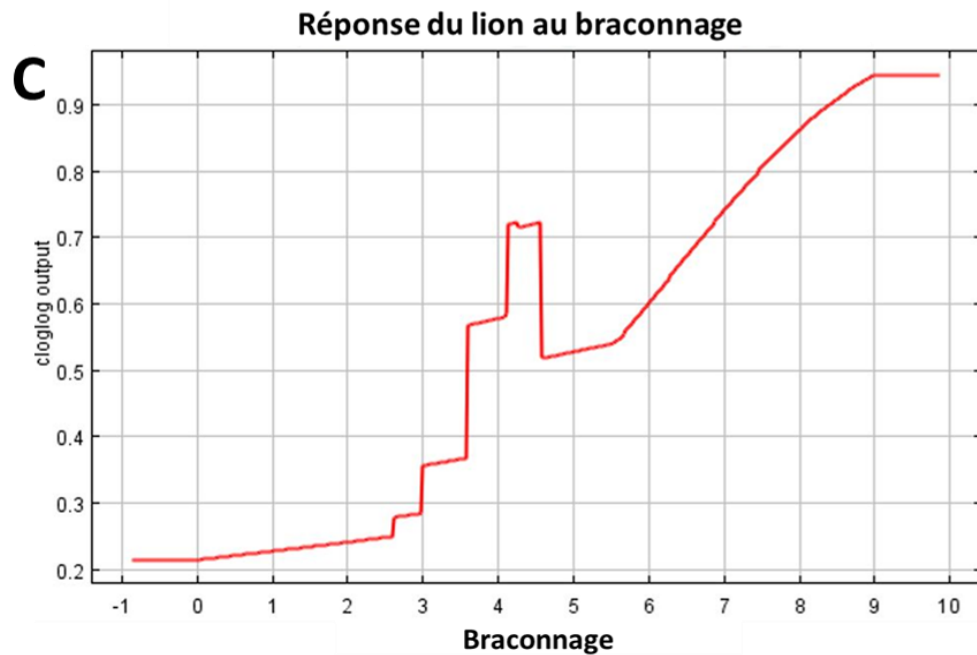
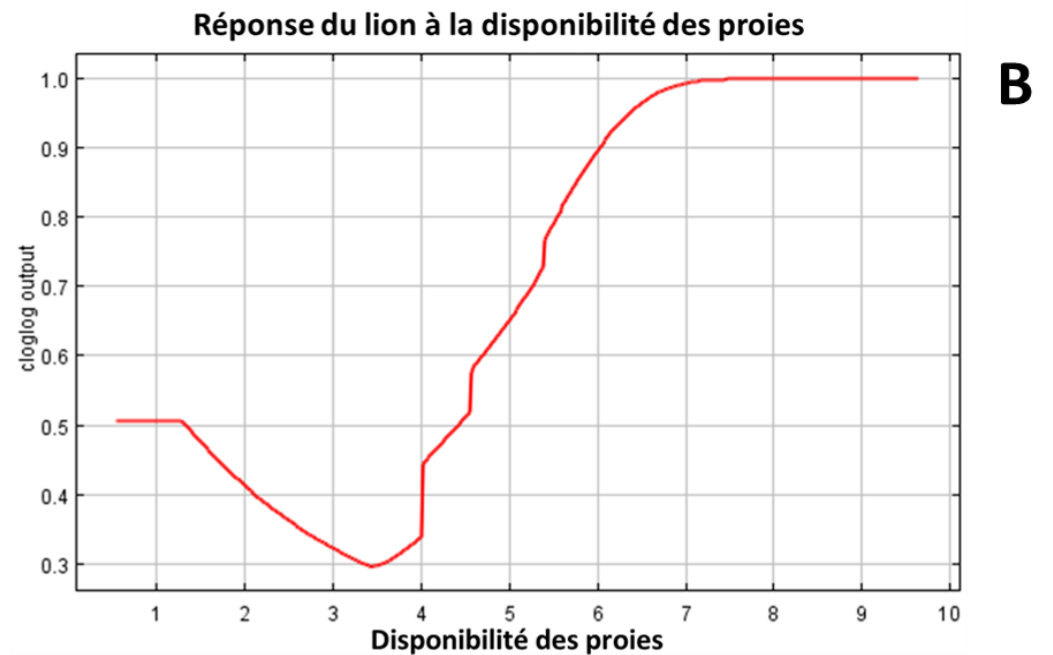
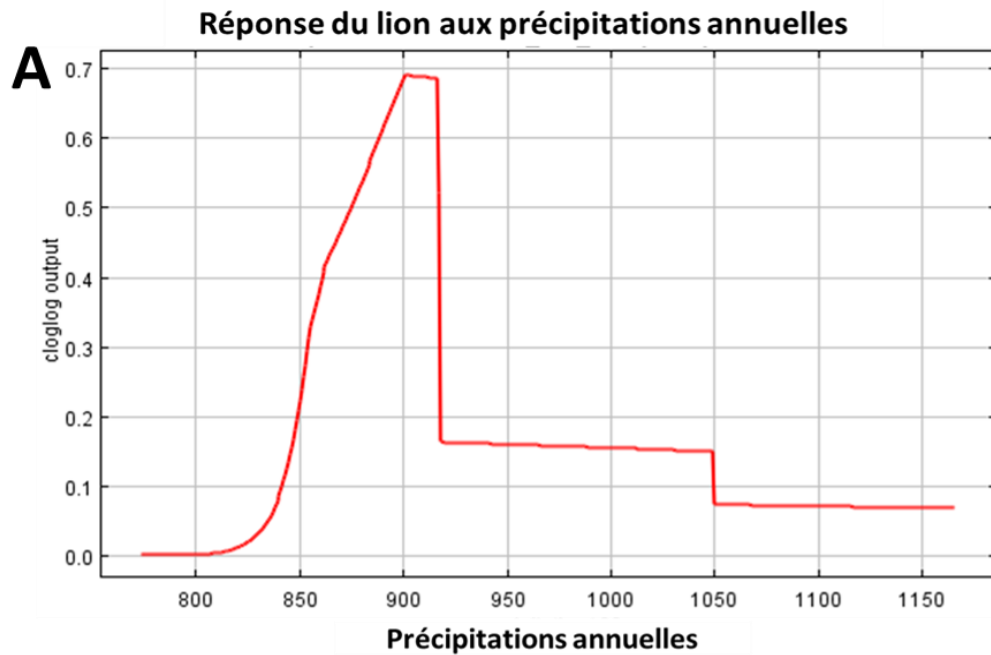


Figure 9 : Courbes de réponses écologiques reflétant la dépendance de l'adéquation prédite par rapport aux variables qui influencent le plus le modèle. A. Précipitations annuelles (mm), B. Disponibilités en proies (Nombre d'espèce de proie par secteur), C. Braconnage (Nombre d'infraction par secteur), D. Divagation du bétail (Nombre d'intrusion par zone).

Le niveau d'adéquation de l'habitat du lion est plus élevé dans les zones avec des précipitations annuelles de l'ordre de 900 mm (Figure 9A) et avec au moins 7 espèces de proies disponibles (Figure 9B). Les secteurs avec des incidences ou actes de braconnage supérieures à 9 présentent une forte probabilité de présence pour le lion (Figure 9C). Cependant, l'inverse est constaté pour la variable divagation lorsque les incursions du bétail dans les secteurs du parc sont minimales, entre 0 à 1 (Figure 9D).

3.1.1.4 Cartographie de l'aire potentielle de l'habitat du lion dans le parc.

Les résultats obtenus révèlent que la superficie appropriée > 50% d'aptitude à l'habitat est de 1299,72 km² (13, 98% de la zone étudiée) alors que celle avec une adéquation de l'habitat > 67% est de 243,90 km² (2,62% de la zone étudiée).

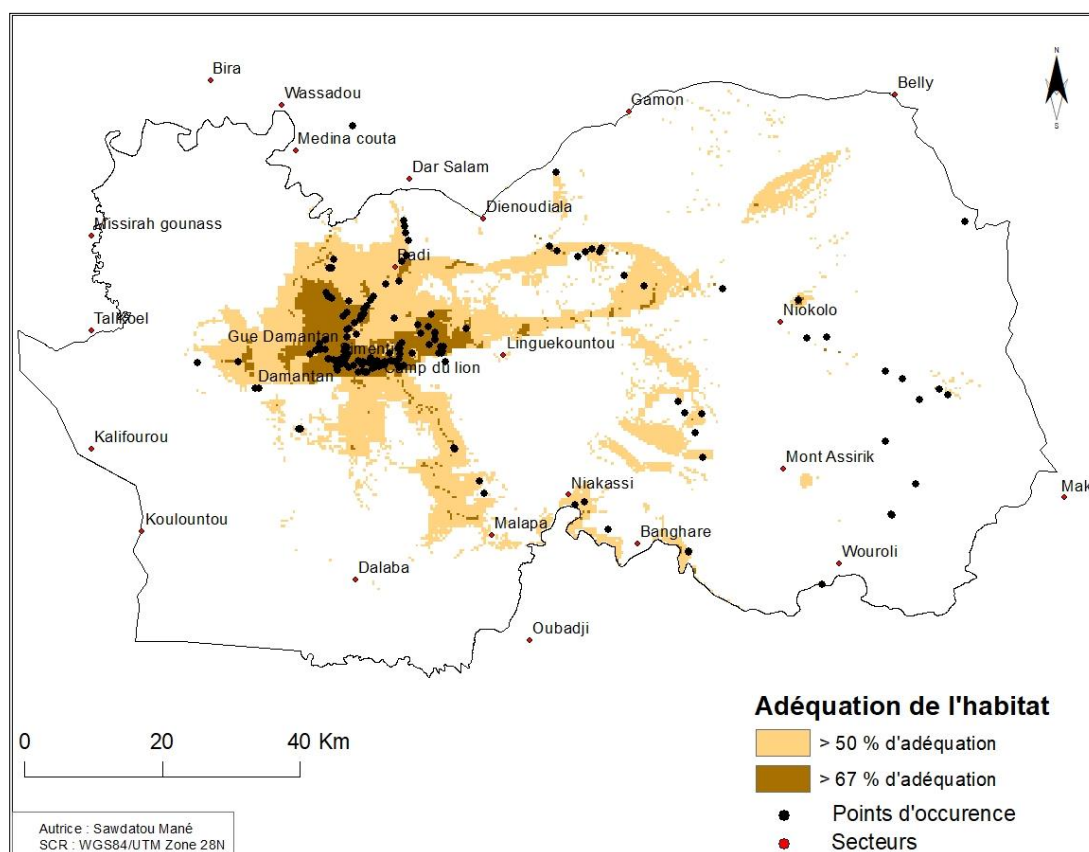


Figure 10 : Répartition spatiale potentielle avec adéquation de l'habitat > 50% et > 67% pour le lion dans le parc

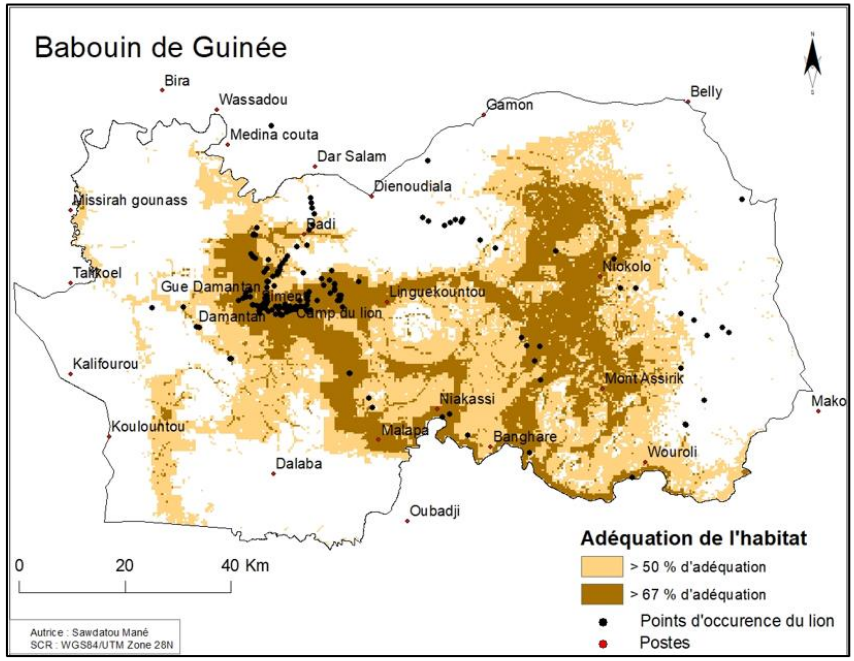
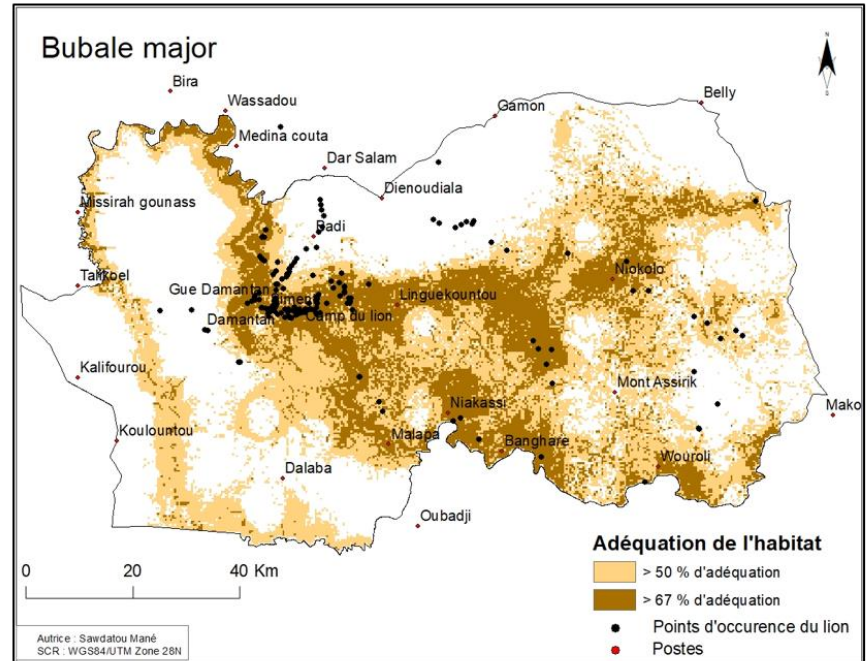
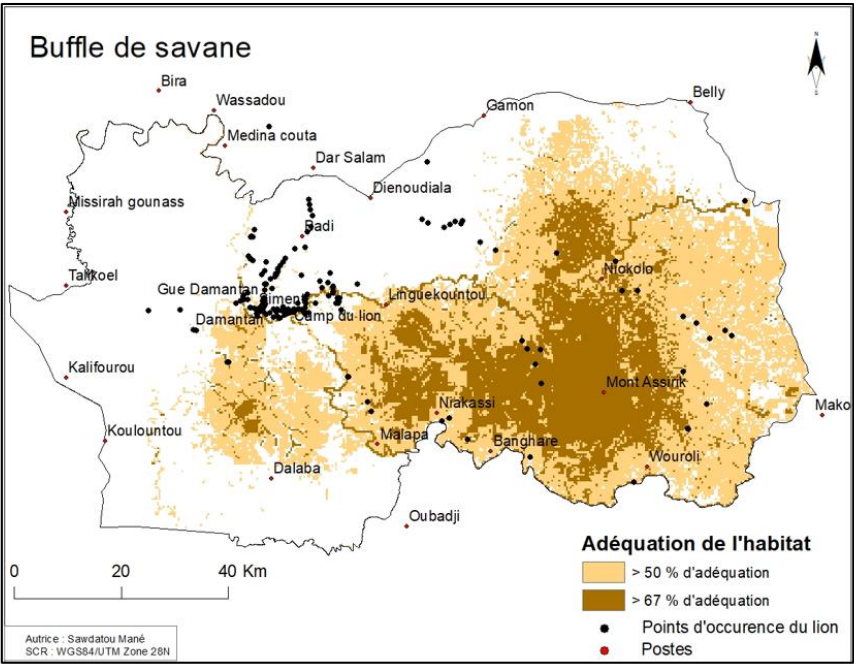
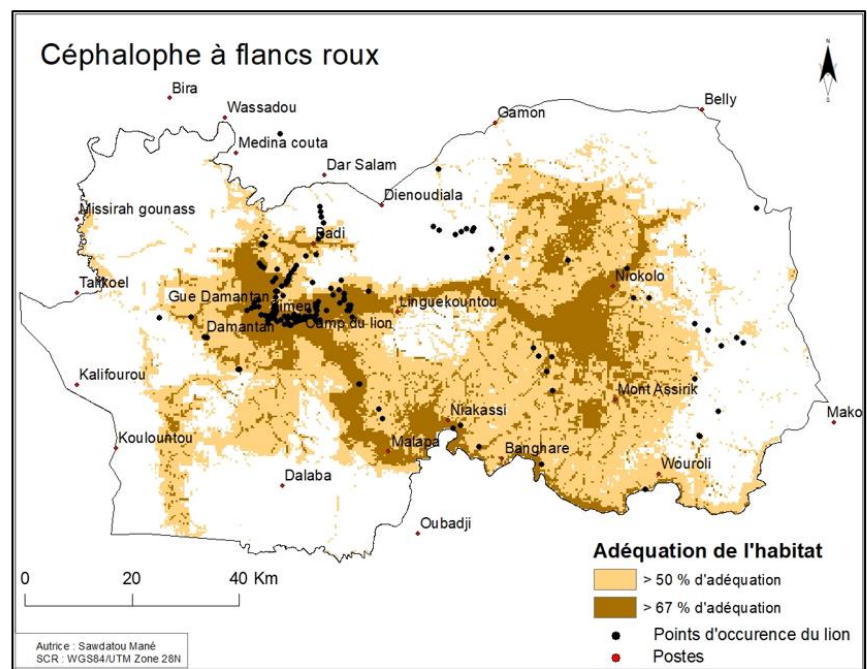
L'habitat approprié du lion (plus de 50% d'adéquation) dans le PNNK s'étend des secteurs situés au centre du parc (Simenti, Badi, Camp du lion, Gué de Damantan, Linguékountou) aux secteurs situés au sud-est en suivant le fleuve Gambie et la rivière Niokolo jusqu'aux secteurs de Malapa, Niakassi et Baghare. La présence semble importante aussi entre Dienoudiala et Niokolo en suivant la route nationale (RN7), près de Belly et entre le cours d'eau Niokolo et le secteur de Niakassi. Leur présence semble minimale près du Mont Assirik, vers Gamon et Mako

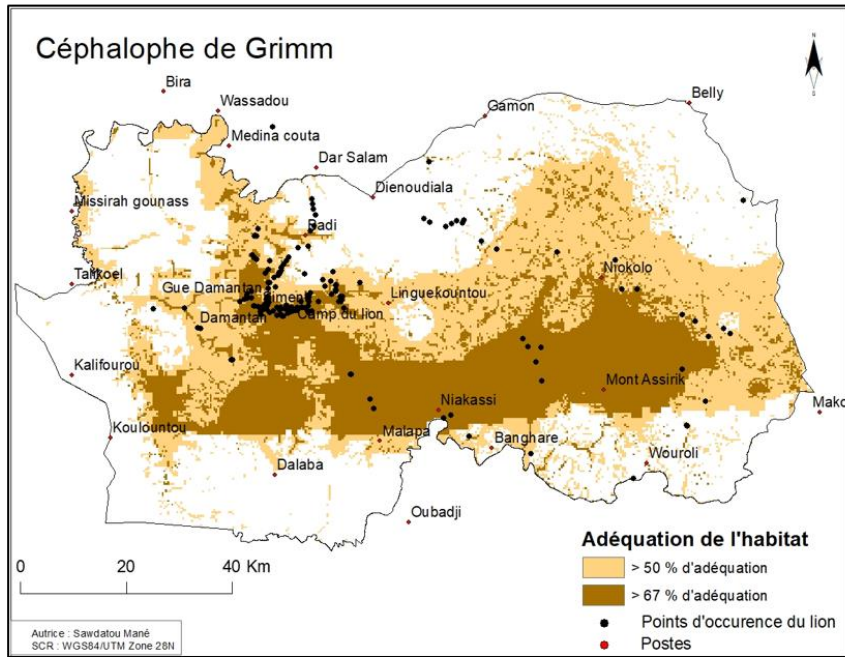
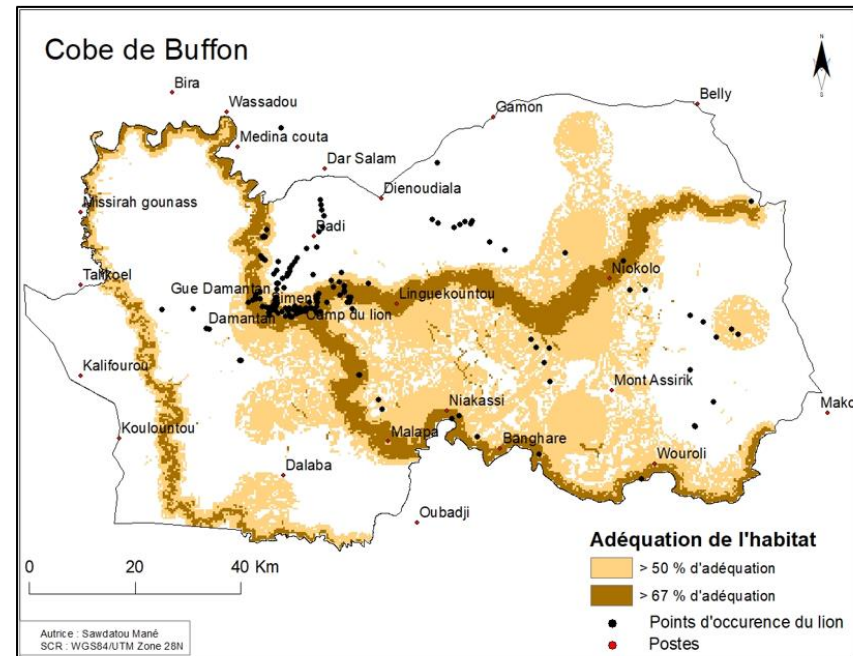
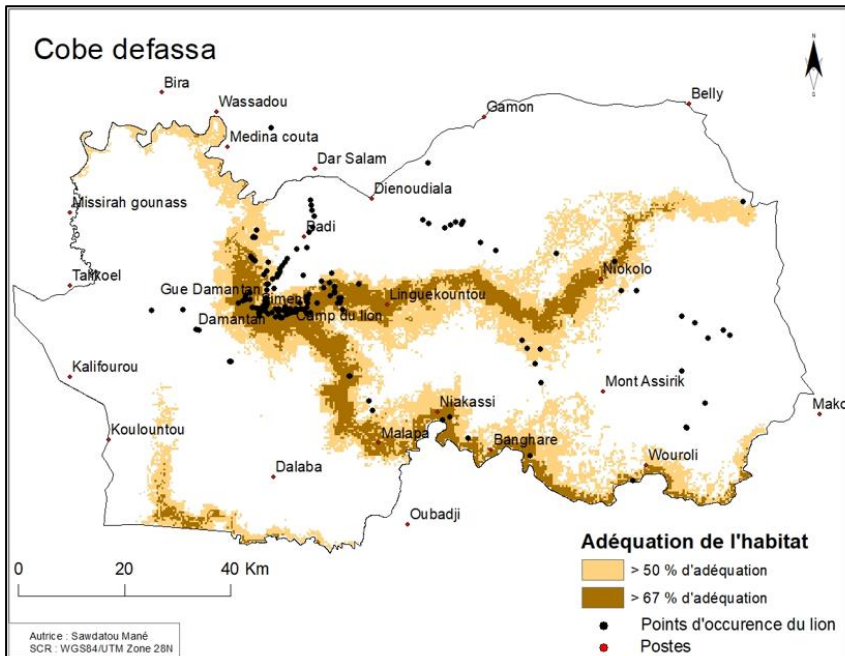
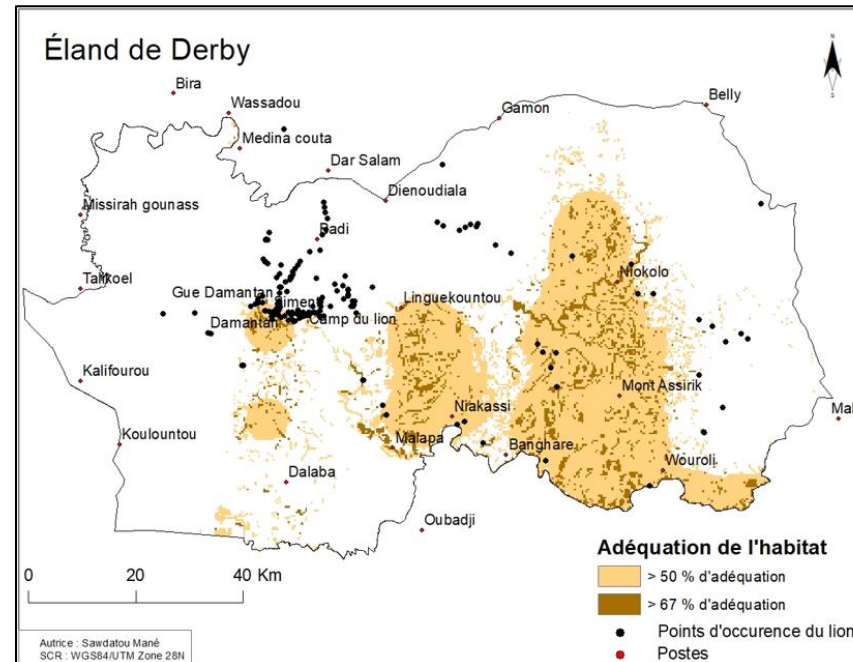
et quasi inexistante dans les zones d'extrême ouest (Kalifourou, Koulountou) et nord-ouest (Missirah gounass, Wassadou). L'habitat approprié > 67% d'adéquation du lion se limite dans la zone centre.

3.1.1.5 Cartographie des proies potentielles du lion dans le parc

Les résultats de la modélisation de l'habitat des proies tels que l'hippopotame, du guib harnaché, du bubale major, du cobe defassa et du cobe de Buffon, le phacochère et l'ourébi présentent des modèles performants avec des AUC supérieurs à 0,90. Le céphalophe à flancs roux, le céphalophe de Grimm le babouin de Guinée, l'éland de Derby, le buffle de savane ont des modèles passables avec des AUC compris en 0,87 et 0,90.

La modélisation de l'habitat des proies potentielles du lion montre que certaines d'entre elle comme le buffle de savane (Figure 11C) et l'éland de Derby (Figure 11H) ont leurs superficies > 50 % d'adéquation situées à l'est du parc. Néanmoins la superficie > 67 % d'adéquation du buffle de savane est plus importante que celle de l'éland de derby. Le babouin de Guinée (Figure 11A), le céphalophe à flancs roux (Figure 11D), le guib harnaché (Figure 11I), l'hippopotame (Figure 11J), l'ourébi (Figure 11K) et le phacochère (Figure 11L) ont des distributions assez similaires dans le parc. Leurs superficies > 50 % d'adéquation s'étendent dans le centre parc jusqu'à l'est alors que celles > 67 % d'adéquation semblent suivre le tracé du fleuve Gambie et de la rivière Niokolo. Cependant le babouin de Guinée a la superficie d'adéquation > 67 % d'adéquation la plus importante. Le céphalophe de Grimm (Figure 11E) a une superficie avec plus 50% d'adéquation qui part de l'ouest à l'est du parc. Toutefois son habitat avec une adéquation > 67 % reste très étendue et proche des secteurs situés au sud. Le bubale major (Figure 11B) a une très grande superficie > 67 % d'adéquation qui s'étend du centre vers l'est du parc. A l'ouest son habitat > 50 % d'adéquation suit parfaitement la rivière Koulountou. Le cobe de Buffon (Figure 11F) présente un habitat > 50 % d'adéquation qui part de la zone centre à l'est du parc alors que celui > 67 % d'adéquation suit le tracé du fleuve Gambie et des rivières Niokolo et Koulountou. Le cobe defassa (Figure 11G) a la plus faible superficie d'adéquation parmi toutes les espèces. Ses habitats favorables > 50 % et 67% d'adéquation suivent le fleuve Gambie et la rivière Niokolo.

A**B****C****D**

E**F****G****H**

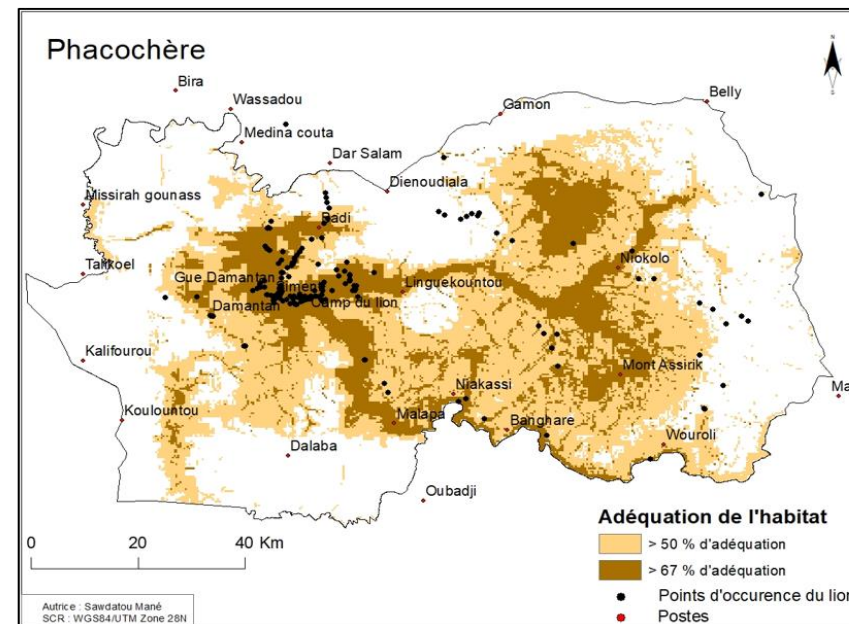
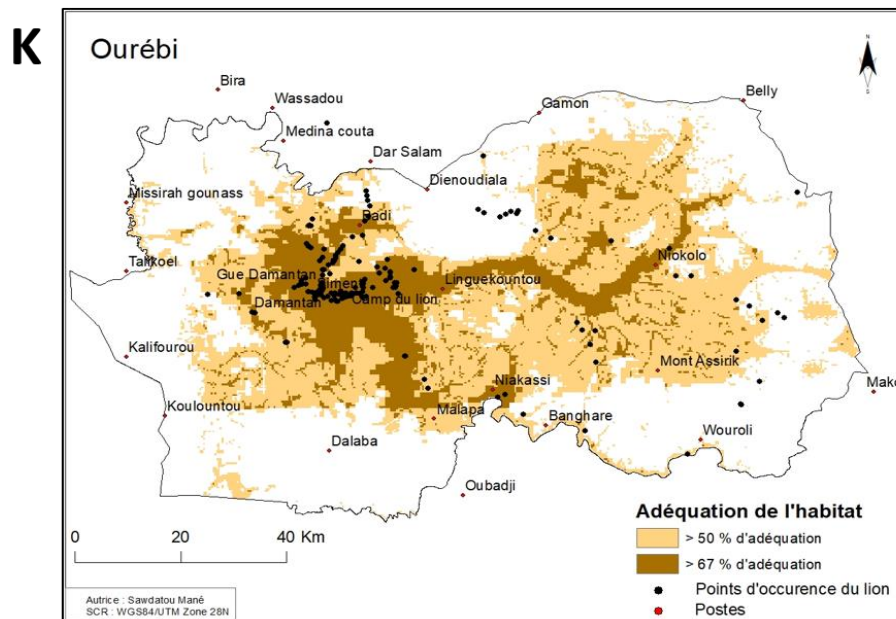
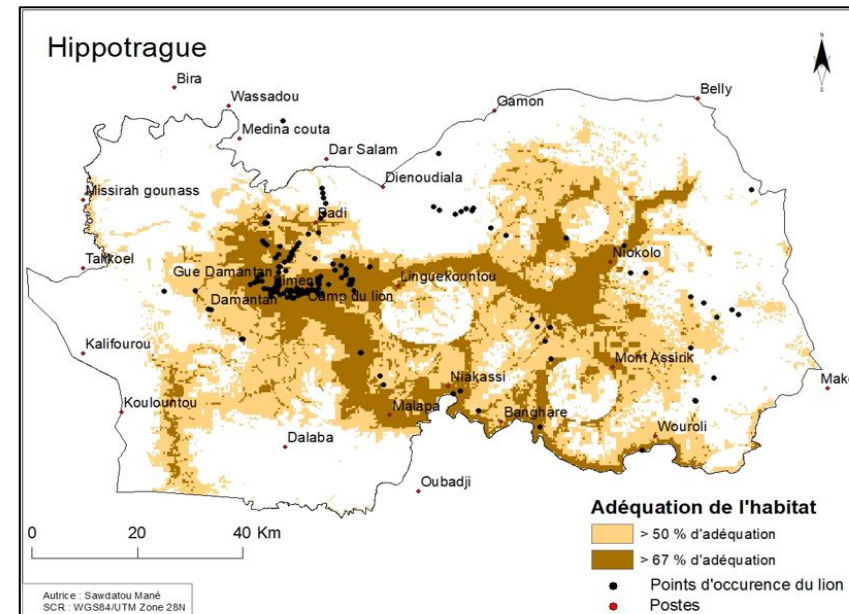
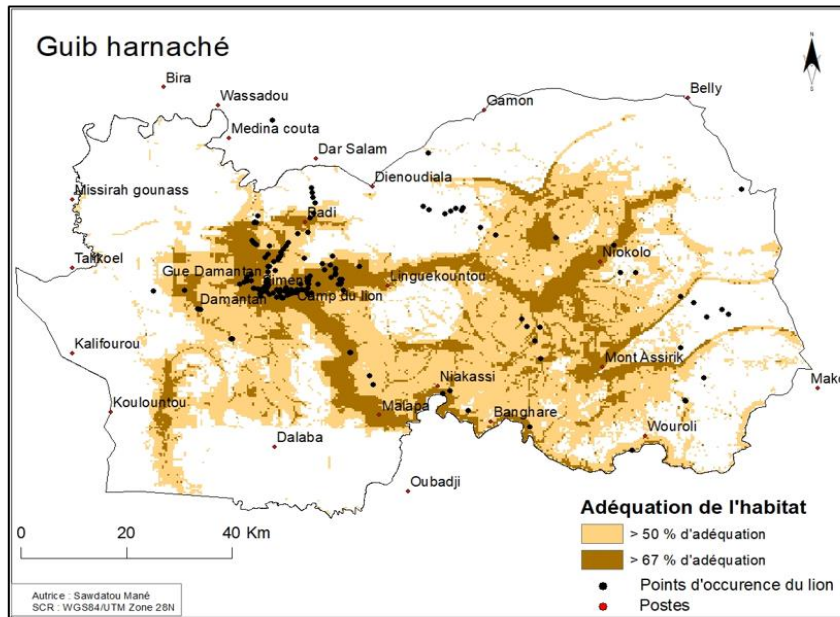


Figure 11 : Cartographie des proies potentielles du lion dans le PNNK. A. Babouin de Guinée (*Papio papio*), B. Bubale major (*Alcelaphus buselaphus major*), C. Buffle de savane (*Syncerus caffer*), D. Céphalophe à flancs rouges (*Cephalophus rufilatus*), E. Céphalophe de Grimm (*Sylvicapra grimmia*), F. Éland de Derby (*Taurotragus derbianus*), G. Cobe defassa (*Kobus ellipsiprymnus defassa*), H. Cobe de Buffon (*Kobus kob*), I. Guib hamaché (*Tragelaphus scriptus*), J. Hippotrague (*Hippotragus equinus*), K. Ourébi (*Ourebia ourebi*), L. Phacochère (*Phacochoerus africanus*),

La distance par rapport aux cours d'eau influence le plus la distribution de l'hippopotame (22,11%), du guib harnaché (22,38%), du bubale major (34,83%), du cobe defassa (54,35%) et du cobe de Buffon (69,80%). La divagation du bétail contribue le plus à la distribution du phacochère (21,60%), du céphalophe à flancs roux (22,67%), du babouin de Guinée (23,06%), l'éland de Derby (37,51%), et du buffle de savane (40,87%). Les précipitations annuelles participent le plus à la modélisation de l'habitat de l'ourébi (26,53%) et du céphalophe de Grimm (37,05%) (Tableau 2).

Tableau 2 : AUC et Contribution en % des variables dans la modélisation de l'habitat des proies.

Espèces de proies	AUC	Braconnage	Divagation	Élévation	Habitat	Hydrographie	NDVI	Précipitations
Bubale major	0,97	0,13	21,96	3,84	8,02	34,83	28,72	2,45
Céphalophe à flancs roux	0,89	20,66	22,67	11,49	16,49	15,95	2,99	9,71
Hippotrague	0,91	18,29	18,59	16,47	11,01	22,15	0,29	13,18
Cobe defassa	0,97	5,28	17,96	8,60	2,06	54,35	9,83	1,89
Cobe de Buffon	0,94	0,00	14,41	0,75	13,82	69,80	0,00	1,19
Ourébi	0,91	8,84	17,94	22,96	14,54	9,14	0,03	26,53
Babouin de Guinée	0,87	23,93	23,06	12,34	16,11	12,33	0,00	12,20
Phacochère	0,91	17,05	21,60	12,27	19,95	11,20	1,08	16,90
Céphalophe de Grimm	0,90	3,68	20,58	11,94	25,91	0,46	0,35	37,05
Buffle de savane	0,88	15,07	40,87	5,07	19,22	12,92	0,01	6,80
Éland de Derby	0,87	10,82	37,51	4,54	32,22	13,85	1,03	0,00
Guib harnaché	0,90	18,51	17,43	13,74	10,26	22,38	3,33	14,30

3.1.2. Analyse du régime alimentaire du lion dans le PNNK

20 fèces de lion ont été collectés en 2023 et 21 en 2018. Ils ont été analysés pour la détermination du régime alimentaire.

3.1.2.1. Composition du régime alimentaire du lion dans le PNNK

L'analyse microscopique des empreintes cuticulaires des poils recueillis dans les fèces de lion a permis de déterminer 10 espèces de proies. Ces dernières se composent d'ongulés tels que l'hippopotame, le buffle de savane, le cobe defassa, le cobe de Buffon, le céphalophe de Grimm, le céphalophe à flancs roux, le guib harnaché, l'ourébi et le phacochère mais également d'une espèce de primates, le babouin de Guinée.

La composition du régime alimentaire selon la fréquence d'occurrence indique que le phacochère (35,71%) et le guib harnaché (19,05%) contribuent le plus à l'alimentation du lion dans le parc. Le babouin de Guinée (11,90%), l'hippotrague (9,52%), le buffle de savane (7,14%) et le cobe de Buffon (7,14%) ont une présence assez moyenne dans le régime alimentaire du lion. Cependant le céphalophe à flancs roux (2,38%), le céphalophe de Grimm (2,38%), l'ourébi (2,38%) et le cobe defassa (2,38%) présentent les plus faibles fréquences d'occurrence dans l'analyse diététique (Figure 12).

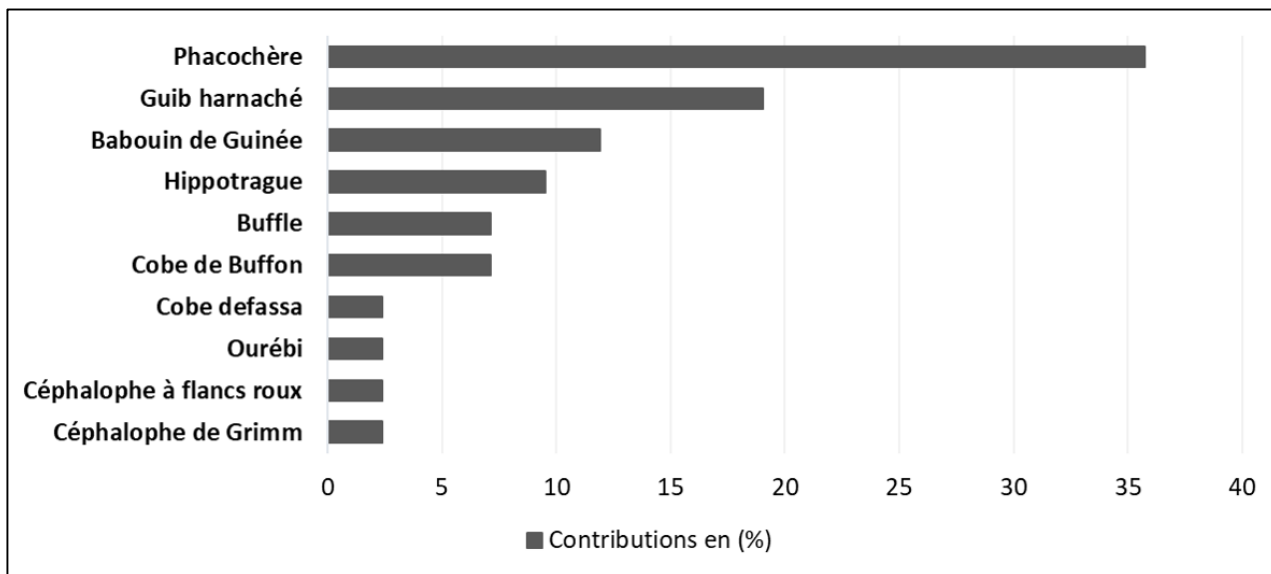


Figure 12 : Contribution ou fréquence d'occurrence (en %) des espèces de proies dans le régime alimentaire du lion dans le PNNK

Les résultats indiquent que la biomasse totale consommée est de 3211,80 kg (Tableau 3), avec le phacochère (28,02%), l'hippotrague (27,50 %) et le buffle (22,18%) qui contribuent le plus à la biomasse relative consommée par le lion dans le parc. Le guib harnaché (8,82%) y participe aussi mais de manière très moyenne. Les participations du céphalophe à flancs roux (0,18%), du céphalophe de Grimm (0,45%) et de l'ourébi (0,41%) sont quasi nulles. La biomasse naïve consommée a été convertie en biomasse corrigée (ou réelle) consommée. Par conséquent, la biomasse consommée corrigée est de 465,65 kg. La correction de la biomasse consommée a augmenté la biomasse consommée relative de espèces de petite tailles (poids moyen < 50kg) et réduit celle des espèces de grandes tailles (poids moyen > 50 kg). Malgré cela le phacochère (31,29%), l'hippotrague (19,86%) et le buffle (15,79%) restent les espèces les plus consommées par le lion dans le parc (Tableau 3).

Tableau 3 : Biomasse consommée et biomasse consommée corrigée déterminées à partir des fèces de lion (n =41) dans le PNNK

Espèces de proies	Poids Moyen (Kg)	Facteur de correction (Kg/crotte)	Nombre d'occurrence (Proies)	Fréquence d'occurrence (%)	Biomasse consommée (Kg)	Biomasse consommée (%)	Biomasse consommée corrigée (Kg)	Biomasse consommée corrigée (%)
Céphalophe à flancs roux	5,8	2,18	1	2,38	5,80	0,18	5,20	1,12
Céphalophe de Grimm	14,6	2,49	1	2,38	14,60	0,45	5,93	1,27
Cobe defassa	166,7	7,81	1	2,38	166,70	5,19	18,61	4,00
Ourébi	13,3	2,45	1	2,38	13,30	0,41	5,82	1,25
Cobe de Buffon	50	3,73	3	7,14	150,00	4,67	26,64	5,72
Buffle	237,5	10,29	3	7,14	712,50	22,18	73,52	15,79
Hippotrague	220,8	9,71	4	9,52	883,20	27,50	92,46	19,86
Babouin de guinée	16,5	2,56	5	11,90	82,50	2,57	30,45	6,54
Guib harnaché	35,4	3,22	8	19,05	283,20	8,82	61,31	13,17
Phacochère	60	4,08	15	35,71	900,00	28,02	145,71	31,29
Total	76,47	48,52	42,00	100,00	3211,80	100,00	465,65	100,00

3.1.2.2. Analyse de la préférence du lion dans le PNNK

L'analyse de la préférence avec la biomasse montre que le lion a une grande préférence pour le buffle ($D = 0,85$), le cobe de Buffon ($D = 0,74$), le cobe defassa ($D = 0,58$) et une préférence assez moyenne pour l'hippotrague ($D = 0,69$) et le phacochère ($D = 0,30$). Cependant le babouin de Guinée ($D = -0,43$), le guib harnaché ($D = -0,14$), le céphalophe de Grimm ($D = -0,28$), le céphalophe à flancs roux ($D = -0,72$) et l'ourébi ($D = -0,26$) sont évités par le lion dans le parc (Figure 13).

L'analyse de préférence avec la fréquence d'occurrence montre que le lion a une forte préférence pour le buffle ($D = 0,74$), le cobe de Buffon ($D = 0,79$). Sa préférence pour l'hippotrague ($D = 0,46$), le cobe defassa ($D = 0,39$), le phacochère ($D = 0,34$) est moyenne. Le lion montre un évitement pour le babouin de Guinée ($D = -0,17$) et le céphalophe à flancs roux ($D = -0,48$). Cependant une très faible préférence du lion pour le céphalophe de Grimm ($0,03$), de l'ourébi ($0,04$) et pour le guib harnaché ($0,02$) est observée (Figure 13).

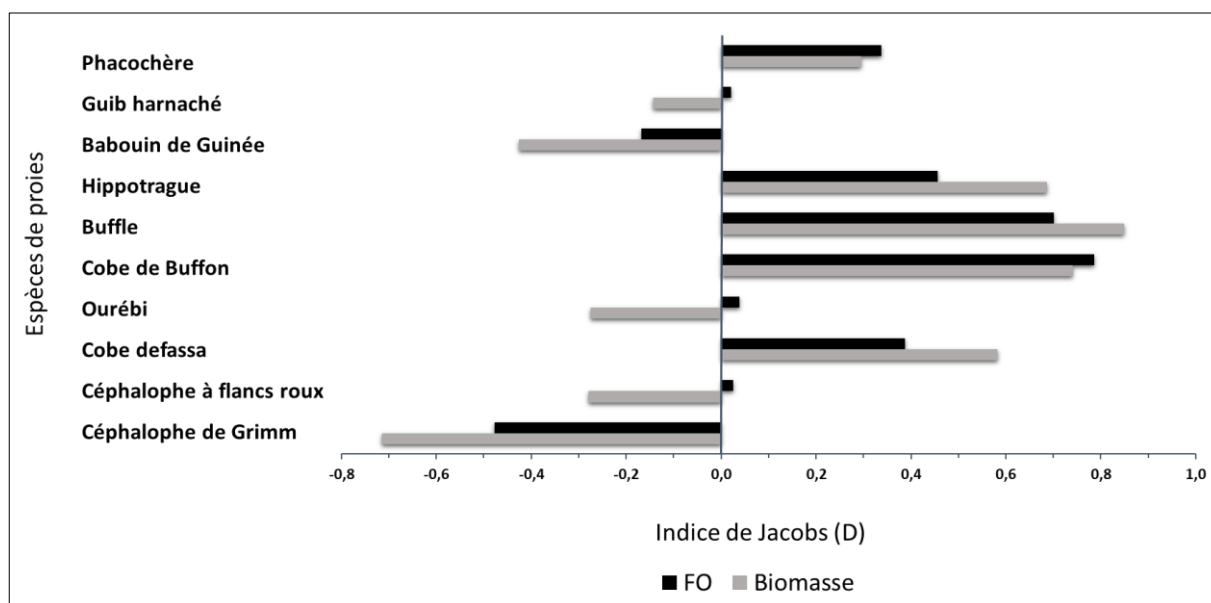


Figure 13 : Indice de Jacobs des espèces de proies selon la biomasse et la fréquence d'occurrence

3.2. Discussion

3.2.1. Modélisation de l'habitat du lion et de ses proies

La modélisation de l'habitat du lion dans le parc a eu un AUC d'une valeur de 0,96. Cela indique la robustesse et la performance du modèle choisi pour la prédiction de l'aire potentielle du lion dans le parc. Les variables qui influencent le plus le modèle dans notre étude sont celles avec les plus grands pourcentages de contribution telles que l'élévation (26,07%), les précipitations annuelles (25,72%), la disponibilité des proies (21,84%) et celles avec les plus

grandes importances de permutation à savoir le braconnage (15,68%) et la divagation du bétail (15,01%).

L'élévation a la plus grande contribution relative (26,07 %) dans la distribution du lion dans le parc. Ce qui est supérieur aux résultats d'Abade *et al.* (2014) en Tanzanie qui affichent 17,2% en terme d'élévation.

En ce qui concerne la contribution des précipitations annuelles (25,72%) dans le modèle, elle est supérieure au 24,4% obtenue par Diouf (2022) mais reste inférieure à celles d'Abade *et al.* (2014) et Pellaton (2019) qui sont respectivement de 30% et 38,8%. De plus, le braconnage participe à la construction du modèle à hauteur de 15,68% ; ce qui est 10 fois supérieur aux résultats de Diouf (2022) qui est de 1,5%. En outre, la distance par rapport aux masses d'eau contribue à 7,92% dans le modèle et est inférieure aux résultats d'Abade *et al.*, (2014) de Pellaton (2019) et de Diouf (2022) qui sont respectivement 30,1%, 56% et 54%. Cette faible valeur pourrait s'expliquer par le fait que dans notre étude nous n'avons utilisé que les cours d'eau permanents (Gambie, Niokolo et Koulountou). Contrairement aux études précédentes (Pellaton, 2019 ; Diouf 2022) qui ont utilisé les cours d'eau permanents et temporaires du parc. Cette surreprésentation du réseau hydrographique dans la modélisation peut entraîner de fortes contributions.

La contribution de l'habitat (2,63%) est plus faible que les résultats de Diouf (2022) qui est de 18,1%. Elle se rapproche plutôt des résultats de Pellaton (2019) qui avait une contribution des types d'habitat d'une valeur de 6,5%.

Le NDVI a la plus faible contribution (0,97%) dans la modélisation du lion dans le parc. Ce résultat est similaire à celui d'Abade *et al.* (2014) qui est de 1,1%. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les images utilisées datent de janvier 2023 (3 mois après la saison des pluies). En effet, la couverture végétale n'est pas assez dense à cette période de l'année ce qui pourrait expliquer la faible variation et contribution de l'indice de végétation dans nos résultats. Cependant le modèle indique que la réponse écologique du lion à cette variable est plus importante dans les zones avec du sable de rivière (Figure 15, Annexes). Ce qui concorde avec les types d'habitat préférés du lion qui incluent les forêts de galerie et des zones proches des plans d'eau.

En ce qui concerne les courbes de réponse écologique, le lion a une préférence pour les zones avec une élévation assez faible comprise entre 25 et 30m. Ce qui entre dans la gamme définie par Fournier (1994) qui soutient que le lion peut vivre dans des hautes altitudes jusqu'à 4500m et concorde aussi avec ces types d'habitat préférés comme la savane arbustive qui se situe dans les zones de plateau. Pour ce qui est des précipitations annuelles dans le parc, ce grand

carnivore préfère des habitats avec des précipitations moyennes de l'ordre de 900mm. Ceci traduit l'importance des précipitations qui déterminent la qualité et la structure des habitats en influençant la végétation (Whyte *et al.*,1995) et affectent la distribution de l'eau potable, modulant ainsi la répartition spatio-temporelle des herbivores et carnivores dépendants de l'eau (Hanby *et al.*, 1995).

Concernant la disponibilité des proies, le lion préfère des habitats avec au moins 7 espèces de proies disponibles. Cela donnerait aussi une explication de la réponse écologique du braconnage sur la distribution du lion. En effet l'abondance des proies dans l'habitat adéquat du lion crée une zone avec une forte richesse spécifique, ce qui pourrait attirer les braconniers. La divagation du bétail repousserait les grands carnivores tels que le lion. En effet le bétail se déplace généralement en groupe et est accompagné par des bergers ce qui peut produire beaucoup de bruit et gêner le lion. Cela pourrait expliquer que les habitats du lion avec une grande adéquation présentent de faible incursion du bétail.

Les résultats obtenus révèlent que la superficie appropriée > 50% d'aptitude à l'habitat est de 1299,72 km² (13, 98% de la zone étudiée) alors que celle avec une adéquation de l'habitat > 67% est de 243,90 km² (2,62% de la zone étudiée). Ces résultats sont similaires à ceux de Pellaton (2019) où la superficie appropriée > 50% d'aptitude à l'habitat est de 1335,5 km² (12,4% de la zone étudiée) et celle > 67% de l'habitat adéquat de 807,4 km² (8,8 % de la zone étudié. Les superficies avec des adéquations > 50% et > 67% de Diouf (2022) restent largement supérieures avec des valeurs respectives de 2437,71 km² et 1387,66 km².

Les modèles des habitats des proies sont performants et robustes avec des AUC qui varient de 0,87 à 0,97. Les résultats montrent que le babouin de guinée, le bubale major, le céphalophe à flancs roux, le céphalophe de Grimm, le guib harnaché, l'hippotrague, l'ourebi et le phacochère et buffle de savane ont des superficies > 50% et > 67% d'adéquations très larges et qui se superposent bien avec ceux du lion dans le parc. Le cobe de Buffon, le cobe defassa et l'élan de derby ont les plus faibles superficies d'adéquation.

La divagation du bétail contribue le plus à la distribution du phacochère, du céphalophe à flancs roux, du babouin de Guinée, l'éland de Derby, et du buffle de savane. Cela est appuyé par les réponses écologiques (Figure 18 et 19, Annexes) de ces espèces qui indiquent que ces espèces ont des habitats avec une grande adéquation dans les secteurs où la divagation du bétail est très faible.

L'importance de la distance par rapport aux cours d'eau dans la distribution de l'hippopotame, du guib harnaché, du bubale major, du cobe defassa et du cobe de Buffon pourraient s'expliquer par la dépendance de ces espèces aux cours d'eau. Cette dépendance se reflète dans leurs réponses écologiques qui indiquent une baisse extrême du niveau d'adéquation de leur habitat si la distance par rapport aux cours d'eau devient importante (Figure 17, Annexes).

Les précipitations annuelles participent fortement à la distribution l'ourébi et le céphalophe de Grimm qui préfèrent des zones avec des précipitations respectives de 870mm et 1000mm. Ceci concorde avec leur superficie d'adéquation et leurs réponses écologiques (Figure 20, Annexes). En effet l'habitat avec de grande adéquation de l'ourébi se trouve dans le centre et celui du céphalophe de Grimm est plus au sud où les précipitations sont les plus fortes.

3.2.2. Analyse du régime alimentaire du lion.

La fréquence d'occurrence indique que les espèces qui contribuent le plus à l'alimentation du lion sont le phacochère (35,71%) et le guib harnaché (19,05%). Cela rejoint les résultats de Pellaton (2019) où le phacochère (40%) et le guib harnaché (13,06%) sont les espèces les plus présentes dans le régime alimentaire du lion. La forte contribution du phacochère dans le régime alimentaire du lion s'explique par un taux de rencontre élevé, dû à leur abondance dans un parc, d'un succès de chasse élevé, en raison de la facilité de capture et des petites tailles du groupe (Hayward et al., 2011 ; Briers-Louw, 2017). En effet les phacochères ont une large superficie d'habitat favorable (> 50% et 67% d'adéquation) dans les secteurs avec une forte présence du lion (Figure 11L). En outre l'analyse de son abondance par Diouf (2022) lui donne une part relative importante d'une valeur de 13,73%. Cette même explication s'applique au guib harnaché et au babouin de Guinée (11,09% de contribution dans le régime alimentaire) qui sont également très présents dans le parc avec des abondances relatives respectives de 12,71% et 59,8% selon Diouf (2022). Leurs superficies d'habitat favorable (> 50% et 67% d'adéquation) sont également des secteurs où la probabilité d'occurrence du lion est très élevée (Figure 11I et Figure 11A).

Les contributions de l'hippopotame (9,52%), du buffle de savane (7,14%) et du cobe de Buffon (7,14%) dans le régime alimentaire du lion restent assez moyennes. Cependant elles restent meilleures que celles de Pellaton (2019) où elles étaient toutes nulles. La faible contribution de l'hippopotame et du buffle pourrait s'expliquer par leur faible abondance dans le parc. En effet ils présentent de faibles abondances relatives soient respectivement 6,43% et 0,89% selon Diouf (2022). En outre dans le PNNK, l'habitat favorable du buffle de savane est situé dans le

secteur sud-est (Figure 11C) alors que celui du lion se concentre principalement dans le centre (Figure 10). Ce qui donnerait une autre explication à la faible contribution du buffle dans le régime alimentaire du lion. Selon Bauer et al., 2008, le cobe de Buffon participe au régime alimentaire du lion en Afrique occidentale et centrale mais de manière assez faible, ce qui concorde avec nos résultats. Le céphalophe à flancs roux, le céphalophe de Grimm, l'ourébi, et le cobe defassa contribuent chacune d'eux très faiblement (2,38%), à cause d'une faible présence dans les échantillons.

La composition du régime alimentaire par la biomasse consommée donne des résultats assez similaires à ceux de la fréquence d'occurrence avec le phacochère (28,02%), le guib harnaché (13,17%), l'hippotrague (27,50 %) et le buffle de savane (22,18%) qui restent parmi les espèces les plus présents dans le régime alimentaire du lion. Les contributions du phacochère, de l'hippotrague et du buffle de savane dans notre étude sont supérieures à ceux de Briers-Louw (2017) lors de la détermination du régime alimentaire des grands carnivores dans la réserve faunique de Majete au Malawi où elles sont respectivement égales 18,48%, 8,72% et 7,26 %. Cependant celle du guib harnaché, 14,43% reste proche des résultats de Briers-Louw (2017).

L'analyse de la préférence avec la biomasse montre que le lion a une grande préférence pour le buffle ($D = 0,85$), le cobe de Buffon ($D = 0,74$), le cobe defassa ($D = 0,58$). Cela diffère des résultats de Pellaton (2019) où le buffle de savane présente un évitement maximal ($D = -1$). Le lion semble avoir une préférence pour les proies de grandes et moyennes tailles. Cela rejoint les conclusions de Hayward et Kerley (2005) qui soutiennent que les lions préfèrent les grandes proies dont le poids varie de 190 à 550 kg ; quelle que soit leur disponibilité, mais ils capturent principalement des proies plus petit que cela reflétant leur comportement opportuniste dans la chasse.

Une préférence assez moyenne pour l'hippotrague ($D = 0,69$) et le phacochère ($D = 0,30$) s'explique par le fait que ces espèces ne sont pas forcément consommées car elles sont préférées mais c'est en fonction de leur abondance relative (Sogbohossou, 2011). Néanmoins une augmentation de la préférence du lion vis-à-vis de l'hippotrague est observée en comparaison aux résultats de Pellaton (2019) où l'espèce présentait un évitement maximal ($D = -1$)

L'évitement du babouin de Guinée ($D = -0,43$) et le guib harnaché ($D = -0,14$) est cependant similaires aux résultats de Pellaton (2019) où les deux espèces sont également évitées. Le céphalophe de Grimm ($D = -0,28$), le céphalophe à flancs roux ($D = -0,72$) et l'ourébi ($D = -0,26$) sont aussi évités par le lion. Les résultats pour le babouin de Guinée, l'ourébi et les espèces de céphalophe concordent avec ceux de Owen-Smith et Mills (2008) qui indique que le lion évite de consommer ces espèces. L'évitement du guib harnaché par le lion a été aussi observé par Hayward et Kerley, (2005).

L'analyse de la préférence avec la fréquence d'occurrence a donnée des résultats similaires à ceux de la biomasse pour les espèces où que le buffle ($D = 0,74$), le cobe de Buffon ($D = 0,79$), l'hippotrague ($D = 0,46$), le cobe defassa ($D = 0,39$), le phacochère ($D = 0,34$) sont préférés et le babouin de Guinée ($D = -0,17$) et le céphalophe à flancs roux ($D = -0,46$) évités. Il existe néanmoins une différence pour le céphalophe de Grimm ($D = 0,03$), l'ourébi ($D = 0,04$) et pour le guib harnaché ($D = 0,02$). Cependant malgré que ces valeurs soient positives, elles sont très proches de 0 donc n'indiquent ni une réelle préférence ou évitement. Donc dans l'ensemble ces valeurs ne permettent pas une interprétation poussée.

Conclusion

Il ressort de cette étude que l'habitat le plus favorable du lion se trouve dans le centre du parc. L'élévation, les précipitations annuelles, la disponibilité des proies, le braconnage et la divagation du bétail jouent un rôle important dans la distribution du lion. En sus la modélisation de l'habitat de ses proies indique qu'il partage ses superficies > 50% et 67 % d'adéquation avec la majeure partie d'entre elles à l'exception du buffle et l'éland de Derby.

Le phacochère contribue le plus au régime alimentaire du lion qu'il soit déterminé par la biomasse consommée ou la fréquence d'occurrence.

Le lion montre une grande préférence pour les espèces de moyenne et grande taille tels que le buffle de savane, le cobe defassa, l'hippotrague, le cobe de buffon et le phacochère. Les espèces de petite taille telles que le céphalophe de Grimm, le céphalophe à flancs roux, l'ourébi, le guib harnaché et le babouin de guinée sont évités.

Afin d'améliorer les modèles des prochaines études dans le PNNK, de renforcer la conservation du lion et pour un meilleur suivi de la faune il est recommandé d'étendre l'installation des pièges photographiques dans tout le parc. De plus, un renforcement de la surveillance dans le parc et la construction de puits et forages pastoraux doit être envisagés vu l'importance des activités anthropiques telles que le braconnage et la divagation du bétail dans la distribution du lion. Enfin, pour avoir des analyses plus robustes sur le régime alimentaire du lion, des campagnes régulières de collecte de fèces doivent être organisées afin obtenir une large gamme d'échantillons.

Références bibliographiques

- Abade L., Macdonald D.W., Dickman A.J. (2014). Using landscape and bioclimatic features to predict the distribution of lions, leopards and spotted hyaenas in Tanzania's Ruaha Landscape. *PLOS One* 9(5): e96261.
- Ackermann, B. B., Lindsey, F. G., Hemker, T. P. (1984). Cougar food habits in southern Utah. *Journal of Wildlife Management*, 48(1), 147–155. DOI : 10.2307/3808462 approaches. University of Chicago Press.
- Adam, J. G. 1965. Tourisme et flore du Fouta-Djallon au Sénégal. *Notes Africaines*, Dakar, N 105, janv. 1965, pp. 12-15, 6 fig.
- Bacon, M. M., Becic, G. M., Epp, M. T., Boyce, M. S. (2011). Do GPS clusters really work? Carnivore diet from scat analysis and GPS telemetry methods. *Wildl Soc Bull* 35 : 409–415.
- Barnett R, Shapiro B, Barnes I, Ho SYW, Burger J, et al. (2009). Phylogeography of lions (*Panthera leo* ssp.) reveals three distinct taxa and a late Pleistocene reduction in genetic diversity. *Molecular Ecology* 18 : 1668–1677.
- Bauer, H. & Van Der Merwe, S. (2004). Inventory of free-ranging lions *P. leo* in Africa. *Oryx*, 38, 26-31.
- Bauer, H., Packer, C., Funston, P.F., Henschel, P. & Nowell, K. (2016). *Panthera leo*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- Bauer, H., Vanherle, N., Di Silvestre, I., De Iongh, H. H. (2008) Lion – prey relations in West and Central Africa. *Mammalian Biology*, 73, 70–73.
- Becker, M., McRob, R., Watson, F., Droge, E., Kanyembo, B., Murdoch, J. and Kakumbi, C. (2013). Evaluating wire-snare poaching trends and the impacts of by-catch on elephants and large carnivores. *Conservation Biology* 158 : 26-36.
- Berger, J. (1999). Anthropogenic extinction of top carnivores and interspecific animal behaviour : implications of the rapid decoupling of a web involving wolves, bears, moose and ravens. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 266, 2261-2267.
- Bertola L. D., Hooft W. F., Vrieling K., Uit de Weerd D. R., York D. S., Bauer H., Prins H. H. T., Funston P. J., Udo de Haes H. A., Leirs H., van Haeringen W. A., Sogbohossou E.,

- Tumenta P. A. & de Iongh H. H. (2011). Genetic diversity, evolutionary history and implications for conservation of the lion (*Panthera leo*) in West and Central Africa. *Journal of Biogeography* 38, 1356-1367.
- Bertola L. D., Jongbloed H., van der Gaag K. J., de Knijff P., Yamaguchi N., Hooghiemstra H., Bauer H., Henschel P., White P. A., Driscoll C. A., Tende T., Ottosson U., Saidu Y., Vrieling K. & de Iongh H. H. (2016). Phylogeographic patterns in Africa and high resolution delineation of genetic clades in the lion (*Panthera leo*). *Scientific Reports* 6 : 3080.
- Bertram, B. (1978). *Pride of Lions*. London : J.M dent and Sons, Ltd, 265 p.
- Bertram, B. (1980). *Les sociétés animales*. Paris. 181 p.
- Beveridge N.G.P., van den Hoogen J.C. (2012). A photographic reference system of micro- and macrostructure of hairs of several East African species.
- Briers-Louw, W. D. (2017). Ecology of three apex predators in Majete Wildlife Reserve, Malawi. 233p
- Brunner H. & Coman B. (1974). *The identification of mammalian hair*. Inkata Press, Melbourne.
- Butynski, T. (2003). *The Chimpanzee, Pan troglodytes : Taxonomy, Distribution, Abundance and Conservation Status in Kormos. West African Chimpanzees. Status Survey and Conservation Plan*. IUCN/SSC Primate Specialist Group, IUCN, Gland, Switzerland.
- Callou, O., Samzun, A. & Zivie, A. (2004). A lion is found in the Egyptian tomb of Maia. Burial of the mummified lion at a dedicated site confirms this animal's once-sacred status. *Nature*, 427, 211-212.
- Cardillo, M. (2003). Biological determinants of extinction risk : why are smaller species less
- Caughley, G. (1977). *Analysis of Vertebrate Populations*. John Wiley and Sons, New York city, New York, USA.
- Centre mondial de surveillance pour la conservation de la nature. (2011). PNNK. <http://www.unep-wcmc.org> (Consulté le 15 Novembre 2023).
- Chardonnet, P. (2002). *Conservation of the African lion : Contribution to a status survey*. International Foundation for the Conservation of Wildlife, France & Conservation Force, USA.

- Chase, J. M., Leibold, M. A. (2003). Ecological niches : linking classical and contemporary
- Craigie, I. D. (2010). Large mammal population declines in Africa's protected areas. *Biological Conservation*, v. 143, p. 2221–2228.
- Diouf, D (2022). La répartition des grands carnivores par rapport aux proies : cas du PNNK. 58p.
- Direction des Parcs Nationaux du Sénégal (DPNS). (2000). Plan Quinquennal de Gestion du Park National du Niokolo Koba 2000 – 2005. 327 pp. DPNS, Dakar.
- Dreyer J. H. (1966). A study of hair morphology in the family Bovidae. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 33(2) : 379-472.
- Dubach J. M., Briggs M. B., White P. A., Ament B. A. & Patterson B. D. (2013). Genetic perspectives on “Lion Conservation Units” in Eastern and Southern Africa. *Conservation Genetics* 14, 741-755.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29 : 129–151.
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík M, Chee YE, Yates CJ. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17:43–57.
- Erasmus, W.N. (2008) Lions in small reserves : an evaluation of Ecological impact and financial viability. MTech thesis. University of South Africa, Florida, US.
- Estes, D. R. (2012). *The behavior guide to African Mammals*, University of California Press.
- Fick, S.E., Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2 : new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12) : 4302-4315.
- Fournier, C. (1994). *Le lion Le règne animal*. 125 p.
- Gueye M., Ndao I. (2017) *Guide du Niokolo-Koba. Quelques mammifères du PNNK*. Direction des Parcs Nationaux, Dakar, Senegal.
- Gueye, M., Pellaton, R., Van Cauteren, D., Mengual, L., Van Dongen, S., Leirs, H., Bertola, L. D., Faye, P. M., Diop, B., Diop, M. M., Kanté, A., de Iongh, H. (2023). Population size and social structure of lions in a west African protected area. 11p
- Hanby, J.P., Bygott, J.D., Packer, C., 1995. Ecology, demography and behavior of lions in two contrasting habitats: Ngorongoro crater and Serengeti plains. In: Sinclair, A.R.E. (Ed.),

- Serengeti II: Dynamics, Management, and Conservation of an Ecosystem. Peter Arcese, chap. 15.
- Hayward M.W., Kerley G.I.H. (2005). Prey preferences of the lion (*Panthera leo*). *Journal of Zoology* 267 : 309- 322.
- Hayward, M., O'Brien, J. & Kerley, G.I.H. (2007). Carrying capacity of large African predators : predictions and tests. *Biol. Conserv.*, 139, 219–229.
- Hayward, M.W., Hayward, G.J., Tambling, C.J. & Kerley, G.I.H. (2011). Do lions *Panthera leo* actively select prey or do prey preferences simply reflect chance responses via evolutionary adaptations to optimal foraging ? *PLOS ONE*, 6(9), e23607. DOI : 10.1371/journal.pone.0023607.
- Henschel, P., Bauer, H., Sogbohossou, E. & Nowell, K. (2015). *Panthera leo* (sous-population d'Afrique de l'Ouest). *La Liste rouge de l'UICN des espèces menacées 2015*.
- Henschel, P., Coad, L., Burton, C., Chataigner, B., Dunn, A., MacDonald, D., Saidu, Y., Hunter, LTB (2014). *Le Lion d'Afrique de l'Ouest est en danger critique d'extinction*.
- IUCN/SSC Cat Specialist Group (2006) *Conservation Strategy for the Lion in West and Central Africa*.
- Jacobs, J. (1974). Quantitative measurement of food selection – a modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index. *Oecologia*, 14(4), 413–417. DOI : 10.1007/BF00384581.
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J. M., Hortal, J. (2008). Not as good as they seem : the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions* 14 : 885–890.
- Kane, M.D. (2014). *Estimating population size, density, and occupancy of lions (*Panthera leo*), leopards (*P. pardus*), and servals (*Leptailurus serval*) using camera traps in the Niokolo Koba National Park in Senegal, West Africa*. MSc thesis at Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.
- Kane, M.D., Morin, D.J., Kelly, M. J. (2015). Potential for camera-traps and spatial mark-resight models to improve monitoring of the critically endangered West African lion (*Panthera leo*). *Biodiversity and Conservation*, 24 (14), 3527-3541.

- Kaushik, H. (2017). Lion population roars to 650 in Gujarat forests. *The Times of India*.
<https://timesofindia.indiatimes.com/city/ahmedabad/lion-population-roars-to-650-in-gujarat-forests/articleshow/59907625.cms> (Consulté le 20 octobre 2023).
- Keogh, H.J. (1983). A photographic reference system of the microstructure of the hair of southern.
- Kingdon J. (2016). *The Kingdon pocket guide to African mammals*. Second edition. Bloomsbury, London New York.
- Kingdon, J. (2003). *The Kingdon field guide to African Mammals*.
- Kitchener A. C., Breitenmoser-Würsten Ch., Eizirik E., Gentry A., Werdelin L., Wilting A., Yamaguchi N., Abramov A. V., Christiansen P., Driscoll C., Duckworth J. W., Johnson W., Luo S.-J., Meijaard E., O'Donoghue P., Sanderson J., Seymour K., Bruford M., Groves C., Hoffmann M., Nowell K., Timmons Z. & Tobe S. (2017). A revised taxonomy of the Felidae. The final report of the Cat Classification Task Force of the IUCN/ SSC Cat Specialist Group. *Cat News Special Issue 11*, 80 pp.
- Klare, U., Kamler, J.F., MacDonald, D.W. (2011). A comparison and critique of different scat analysis methods for determining carnivore diet. *Mammal Review*, 41(4), 294–312. DOI : 10.1111/j.1365- 2907.2011.00183.x.
- Krebs, C.J. (1999). *Ecological Methodology*, 2nd Ed. Addison Wesley Longman, Menlo Park.
- Krebs, C.J., Boutin, S., Boonstra, R., Sinclair, A.R.E., Smith, J.N.M., Dale, M.R.T., Martin, K., Turkington, R. (1995). Impact of food and predation on the snowshoe hare cycle. *Science*, 269, 1112-1118.
- Land Use Land Cover. (1988). <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/lulc>. Consulté le 10 décembre 2023.
- Linnaeus C. (1758). *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classis, ordines, genera, species cumcharacteribus, differentiis, synonymis, locis* (10th ed.), Vol. 1. Laurentii Salvii, Holmiae.
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., Real, R. (2008). AUC : a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17 : 145–151.

- Long, R.A., MacKay, P., Zielinski, W.J., Ray, J.C. (2008). *Noninvasive Survey Methods for Carnivores*. Island Press, Washington, District of Columbia, USA.
- Loveridge, A.J., Searle, A.W., Murindagomo, F. and Macdonald, D.W. (2007). The impact of sport-hunting on the population dynamics of an African lion population in a protected area. *Biological Conservation* 134 : 548-558.
- Maddox, T. (2003). The ecology of cheetahs and other large carnivores in a pastoralist-dominated buffer zone. PhD thesis. Department of Anthropology, University of London, London, UK.
- Madsen, J. E., Dione, D., Traoré, A. S. Sambou, B. (1996). Flora and vegetation of Niokolo-Koba National Park, Senegal, L. J. G. Van der Maesen, X. M. van der Burgt, J. M. van Medenbach de Rooy - *The Biodiversity of African Plants*. Springer. 861 p.
- Mammifères africains. (2023). Lion. *Panthera leo*
<https://mammiferesafricains.org/2023/04/lions-bis/> (Consulté le 10 Octobre 2023).
- Mann, G. (2014). Aspects of ecology of leopards (*Panthera pardus*) in the Little Karoo, South Africa. (Unpublished Ph.D. dissertation). Grahamstown, South Africa : Rhodes University.
- Martineau, C. (2020). Couplage du logiciel de modélisation de l'habitat MaxEnt à des simulations du couvert nival pour l'amélioration de la prédiction de présence du caribou de Peary. 92p.
- Meek, P., Fleming, P., Ballard, G., Banks, P., Claridge, A., Sanderson, J. & Swann, D. (2014). *Camera Trapping : Wildlife Management and Research*. CSIRO Publishing, Collingwood.
- Morin-Garraud, S. (2001). Anatomie et éthologie du lion (*Panthera leo*). 126 p.
- Moua, Y. (2017). Correction de l'effet du biais d'échantillonnage dans la modélisation de la qualité des habitats écologiques : application au principal vecteur du paludisme en Guyane française. *Maladies infectieuses*. Université de Guyane.
- Moussa, I. D., Mourou, B., Diouf, A., Oumani, A. A. (2022). Modeling the distribution of *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. for its conservation in Niger. 17p.
- Ndao, I., Henschel, P. (2011). Rapport de l'étude sur la population des lions au Parc National Niokolo-Koba. Dakar, Direction des Parcs Nationaux.

- Nicholson, S. K., Dickman, A., Hinks, A., Riggio, J., Bauer, H., Loveridge, A., Becker, M., Begg, C., Bhalla S., Burnham, D., Cotterill, A., Dolrenry, S., Dröge, D., Funston, P., Hazzah, L., Ikanda, D., Gebresenbet, F., Henschel, P., Mandisodza-Chikerema, R.L., Mbizah, M., Hunter, L., Jacobsen, K., Lindsey, P., Maputla, N., Macdonald, E., Macdonald, D. W., Duff, R. K., Packer, C., Sillero-Zubiri, C., Mudumba, T., Strampelli, P., Sogbohossou, E. A., Tyrrell, P., Jacobson, A. P. (2023). Socio-political and ecological fragility of threatened, free-ranging African lion populations, *Communications Earth & Environment*.
- Nowell, K., Jackson, P. (1996). *Wild Cats - Status Survey and Conservation Action Plan*. Gland/Switzerland : IUCN/SSC Cat Specialist Group. 421 p.
- O'Brien, T.G., Kinnaird, M.F., Wibisono, H.T. (2003). Crouching tiger, hidden prey : Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Anim Conserv* 6 :131–139.
- O'Connell, A.F., Nichols, J. D. & Karanth, K. U. (2011). *Camera Traps in Animal Ecology : Methods and Analyses*. Springer, New York city, New York, USA.
- Owen-Smith, N., Mills, M.G.L. (2008) Predator–prey size relationships in an African largemammal food web. *Journal of Animal Ecology*
- Pellaton, R. (2019). Densité, répartition spatiale et régime alimentaire des grandes carnivores par rapport aux populations de proies dans le PNNK, Sénégal. 110p.
- Phillips, S. J., Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent : new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31 : 161–175.
- PNNK. (2016). Rapport d'activités de suivi écologique au PNNK.
- PNNK. (2017). Rapport sur l'état de conservation du PNNK.
- Pocock, R. I. (1930). "The lions of Asia". *Journal of the Bombay Natural Historical Society* 34 : 638–665.
- Rabeil, T. (2015). Inventaire de la grande faune du PNNK au Sénégal. p. 39.
- Radloff, F. G. T., Dutoit, J. T. (2004). Large predators and their prey in a southern african savanna : a predator's size determines its prey range size. *J Anim Ecol* 73 : 410–423.

- Rovero, F., Zimmermann, F., Berzi, D., Meek, P. (2013). "Which camera trap type and how many do I need" A review of camera features and study designs for a range of wildlife research applications. *Hystrix*, 24, 148–156.
- Rudnai, J. A. (1973). *The social life of the lion : A study of the behavior of wild lions (Panthera leo massaica) in the Nairobi National Park, Kenya*. Wallingford : Washington square east publishers. 122 p.
- Ruggiero, R.G. (1991) Prey selection of the lion (*Panthera leo L.*) in the Manovo-Gounda-St Floris National Park, Central African Republic. *Mammalia*, 55, 23-35.
- Schaller, G. (1972). *The Serengeti Lion : A study of predator – prey relations*. Chicago : Chicago Press University 1972. 480 p.
- Schaller, G.B. (1972). *Serengeti lion ; a study of predator-prey relations*. University of Chicago Press, Chicago.
- Sebbag, D. (1972). *Modification du comportement des lions en captivité*. 48 p
- Sillero-Zubiri, C. Ilaria Di Silvestre, I., Jorgelina Marino, J., Massaly S., Novelli, O. 1997. Distribution and status of Carnivore species in Niokolo Badiar. Rapport de recherche no. 7. Projet Niokolo-Badiar. 29p.
- Simberloff, D. (1998). Flagships, umbrellas, and keystones : Is single-species management passé in the landscape era *Biological Conservation*, 83, 247-257.
- Smith, O. N. (2008). Changing vulnerability to predation related to season and sex in an African ungulate assemblage. *Oikos* 117 : 602–610.
- Sogbohossou E.A. (2011). *Lions of West Africa. Ecology of lion (Panthera leo Linnaeus 1758) populations and human-lion conflicts in Pendjari Biosphere Reserve, North Benin*. Diploma thesis at Leiden University, Netherlands.
- Sogbohossou, E.A. (2006). *Phylogénie, morphologie et écologie des populations de lions (Panthera leo Linnaeus 1758) d’Afrique de l’Ouest : étude préliminaire des lions du Bénin*. MSc dissertation, Université d’Abomey-Calavi, Benin.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240 : 1285-1293.
- Tambling, C. J., Laurence S. D., Bellan, S. E., Cameron, E. Z., Dutoit, J. T. (2012). Estimating carnivoran diets using a combination of carcass observations and scats from GPS clusters. *J Zool* 286 : 102–109.

- Tappan, G. G., (2012). Occupation des Terres du Sud-Est du Sénégal (unpublished color poster with map, descriptive text (in French), photographs, and illustrations) : Sioux Falls, South Dakota, U.S. Geological. Survey (map scale 1 :200,000).
- Terborgh, J., Lopez, L., Nunez, P., Rao, M., Shahabudin, G., Orihuela, G., Riveros, M., Ascanio, R., Adler, G.H., Lambert, T.D., & Balbas, L. (2002) Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, 294, 1923.
- The IUCN Red List of Threatened. (2023). Species [https : // www.iucnredlist.org/fr/species/68933](https://www.iucnredlist.org/fr/species/68933).
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo M. B. (2005). Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology and Biogeography* 14 : 347–357.
- Tol, F., Bakker, E. (2014). Reference collection, prey species North Cameroon. Unpublished.
- Un monde de félins. Le lent déclin des lions. eline-world.e-monsite.com/pages/felins-en-danger/le-lent-declin-des-lions.html. Consulté le 23 Septembre 2023.
- Van Orsdol, K.G., Hanby, J.P. Bygott, J.D. (1985). Ecological correlates of lion social organization (*Panthera leo*). *Journal of Zoology (London)*, 206, 97–112. *Vulnerable Animal Conservation*, 6, 63–69.
- Walker, C. (1996). *Signs of the wild : a field guide to the spoor & signs of the mammals of southern Africa*. Cape Town, South Africa : Struik.
- Wendle, J. (2022). En Afrique de l'Ouest, la course contre la montre pour sauver les lions. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.fr/animaux/2022/06/en-afrique-de-louest-la-course-contre-la-montre-pour-sauver-les-lions> (Consulté le 14 octobre 2023).
- White L.J.T. (1994). Biomass of rain forest mammals in the Lopé Reserve, Gabon. *Journal of Animal Ecology* 63 : 499-512.
- Whyte, I.J, Mills, M.G.L., Biggs, H.C, 1995. The relationship between rainfall, lion predation and population trends in African herbivores. *Wildl. Res.* 22 (1), 75–87
- Williams, B.K., Nichols, J.D., Conroy, M.J. (2002). *Analysis and Management of Animal Populations*. Academic Press, San Diego, California, USA.

- Wilson, D. E., Mittermeier, R. A. (2009). Felidae, Handbook of the Mammals of the World – Volume 1 Carnivores, Barcelona : Lynx Edicions, pp. 54-168.
- Wozencraft W. C. (2005). Order Carnivora. In Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference (3rd ed.). Wilson D. E. & Reeder D. M. (Eds). Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 532-628.
- Yamaguchi, N., Cooper, A., Werdelin, L. and MacDonald D.W. (2004). Evolution of the Mane and Group-Living in the Lion (*Panthera leo*) : A Review. Journal of Zoology, London, 263, 329-342.

Annexes

Tableau 4 : Variables utilisées pour la modélisation de l'habitat du lion dans le PNNK

Variables	Sources	Résolution d'origine
Braconnage	Base de données du PNNK	–
Divagation du bétail	Base de données du PNNK	–
Disponibilité des proies	Pièges photographiques du PNNK	–
Distance par rapport aux cours d'eau	Base de données du PNNK	–
Habitat	Tappan (2015)	100 m
NDVI	Landsat 8 https://earthexplorer.usgs.gov/	30 m
Élévation	Worldclim v. 2.1 https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html	1 km
Précipitations annuelles	Worldclim v. 2.1 https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html	1 km



Photo 4 :Microscope Zeiss utilisée pour photographier les poils (Gauche) , Plaque chauffante (Droite)

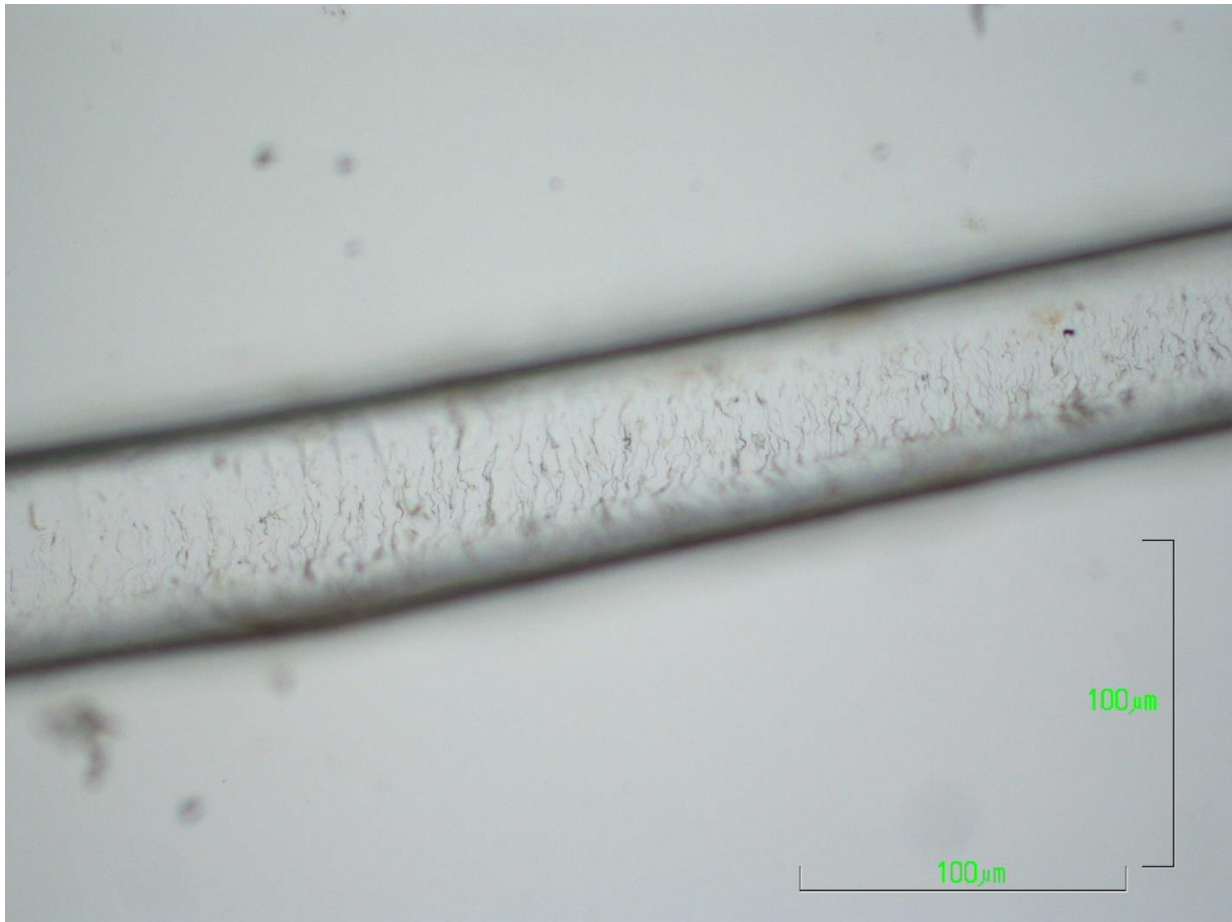


Photo 5: Poil de phacochère issu des échantillons photographié par un microscope

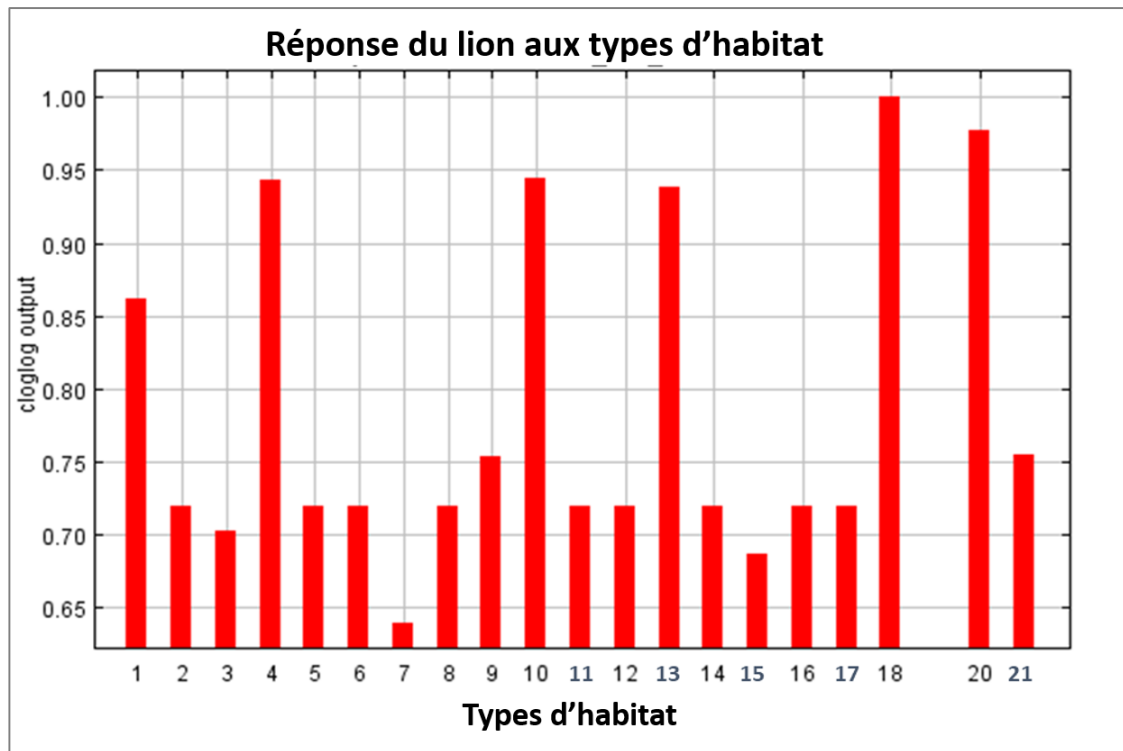


Figure 14 : Réponse écologique des types d'habitat sur la distribution du lion dans le PNNK

Tableau 5 : Correspondance entre les types d'habitat et leur valeurs dans la classification de Tappan (2015)

Valeur	Type d'habitat
1	Bowé et prairie herbeuse
2	Cultures avec jachère
3	Forêt claire
4	Galerie forestière
5	Arbustes et arbres sur Bowé
6	Habitations
7	Galerie claire ou dégradé
8	Forêt dense
9	Bas fonds
10	Plans d'eau
11	Forêt ripicole
12	Fourrée
13	Forêt claires des vallées
14	Sols nus
15	Savane boisée
16	Mare temporaire
17	Savane herbeuse
18	Carrière abandonnée
20	Savane arbustive
21	Bas fonds avec Mimosa pigra

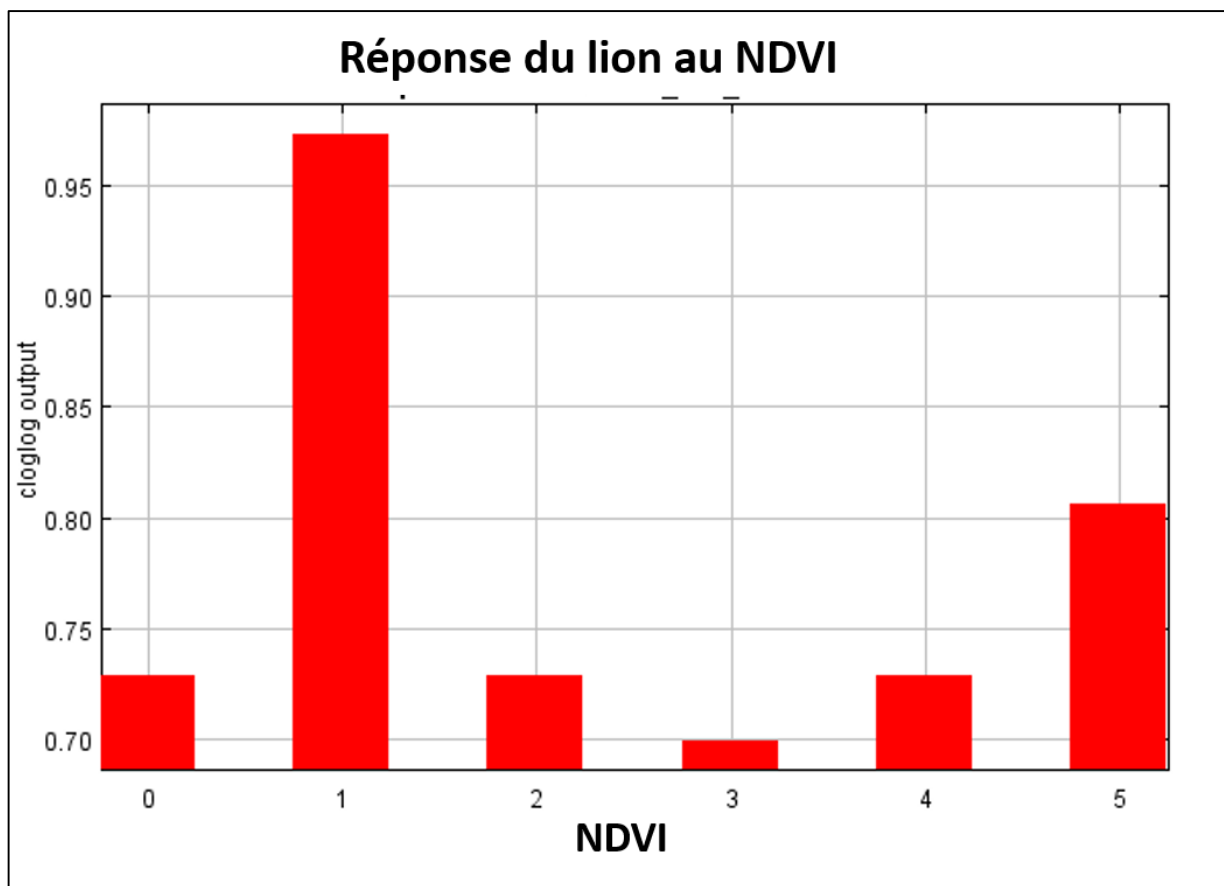


Figure 15 : Réponse écologique du NDVI sur la distribution du lion dans le PNNK

Tableau 6 : Classes des NDVI selon le Land Use Land Cover 1988

Classes	Nombre attribué
Eau	0
Construction / Sable de rivière	1
Terrain nu	2
Arbuste / Prairie herbeuse	3
Végétation parsemée	4
Végétation dense	5

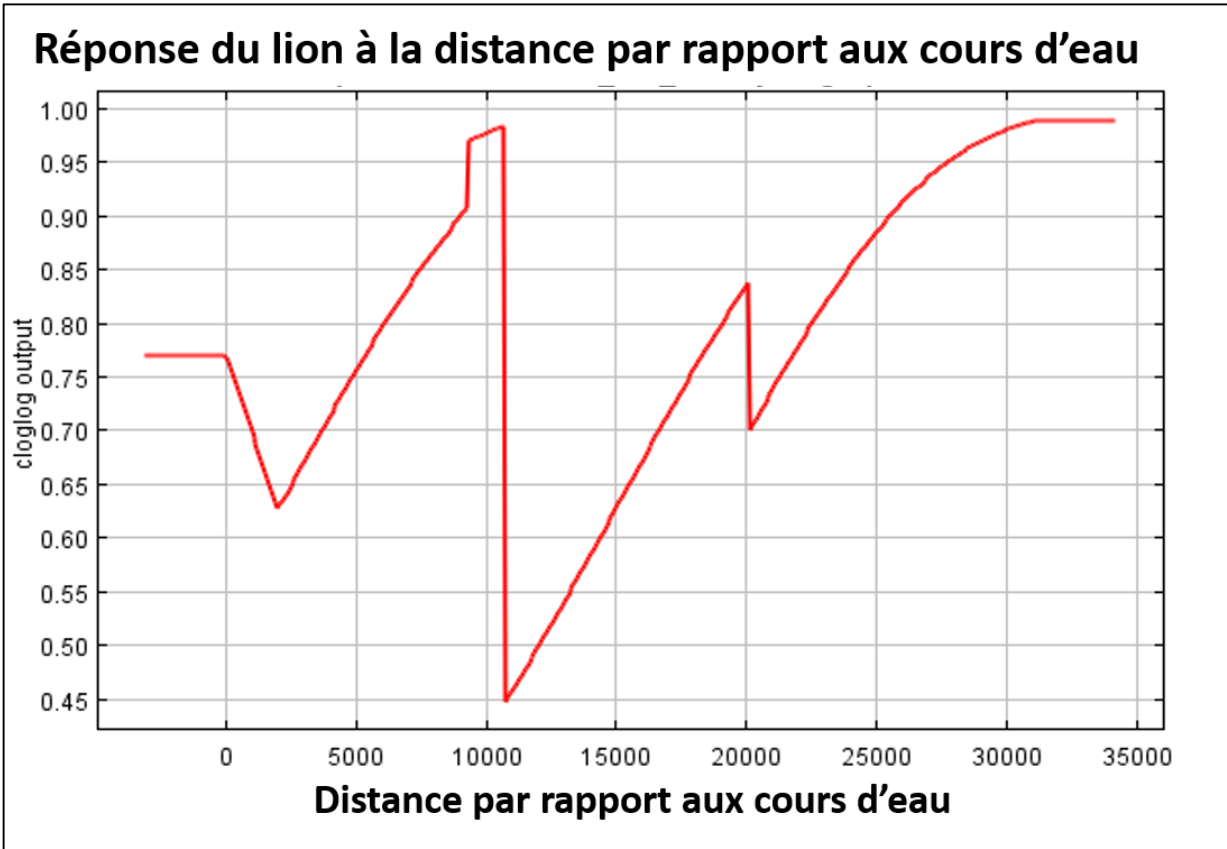


Figure 16 : Réponse écologique de la distance par rapport aux cours d'eau sur la distribution du lion dans le PNNK

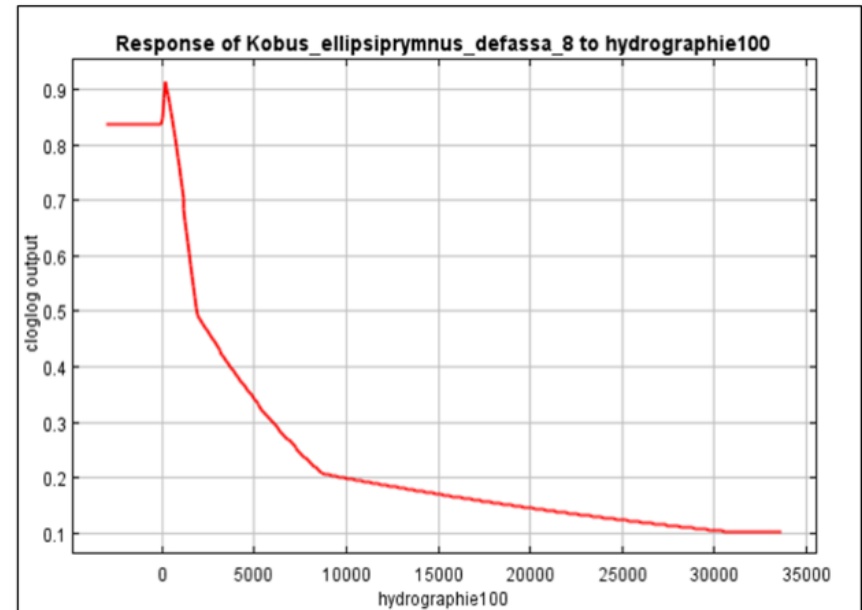
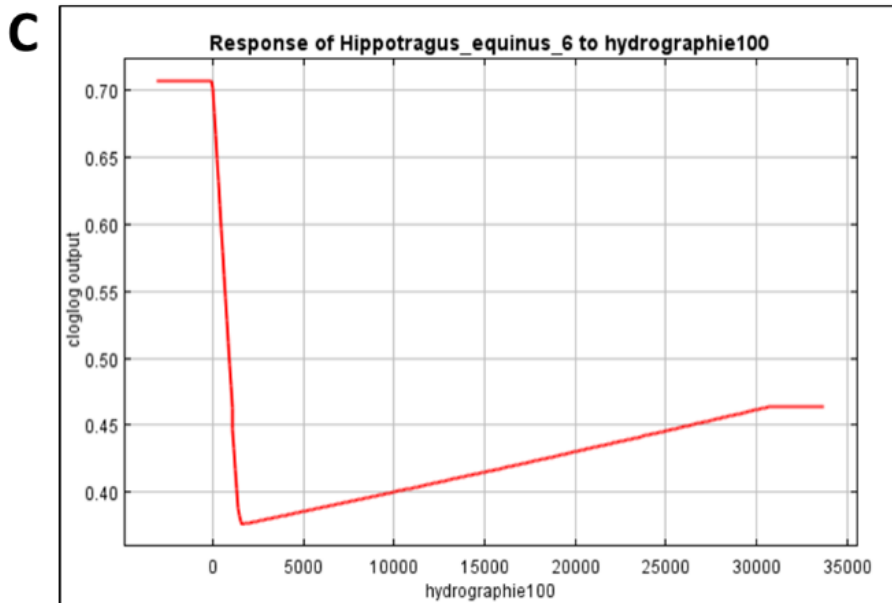
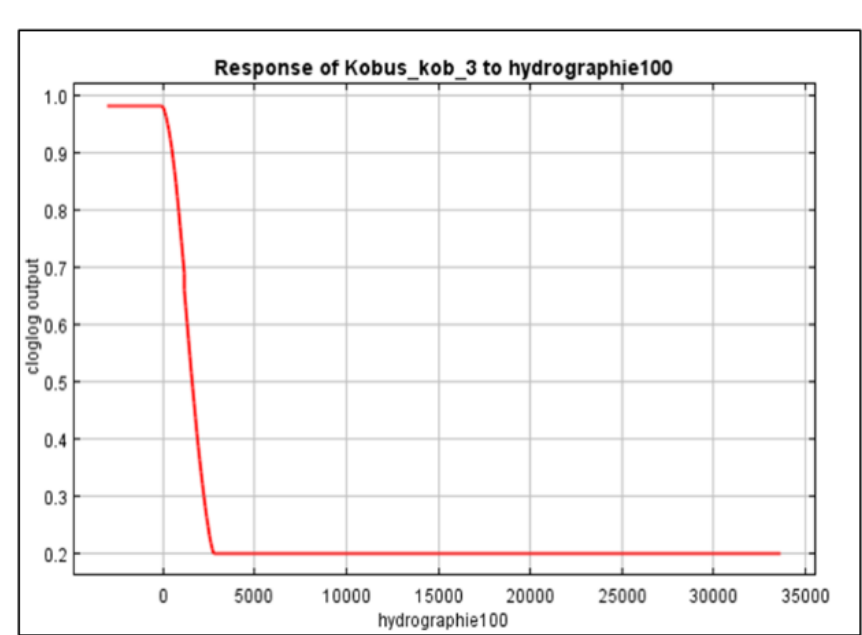
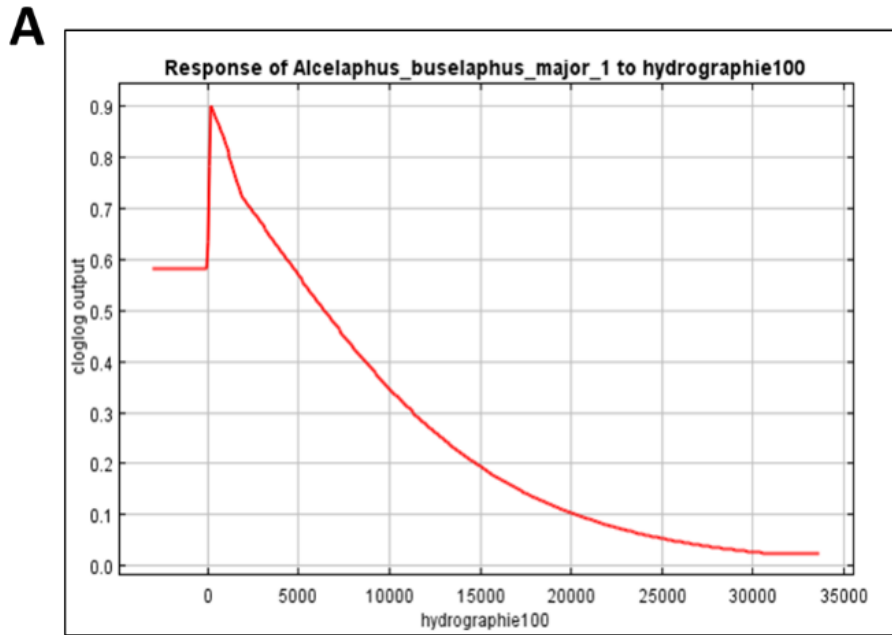


Figure 17 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par la distance par rapport aux cours d'eau. A. Bubale major, B. Cobe de Buffon, C. Hippotrague, D. Cobe defassa

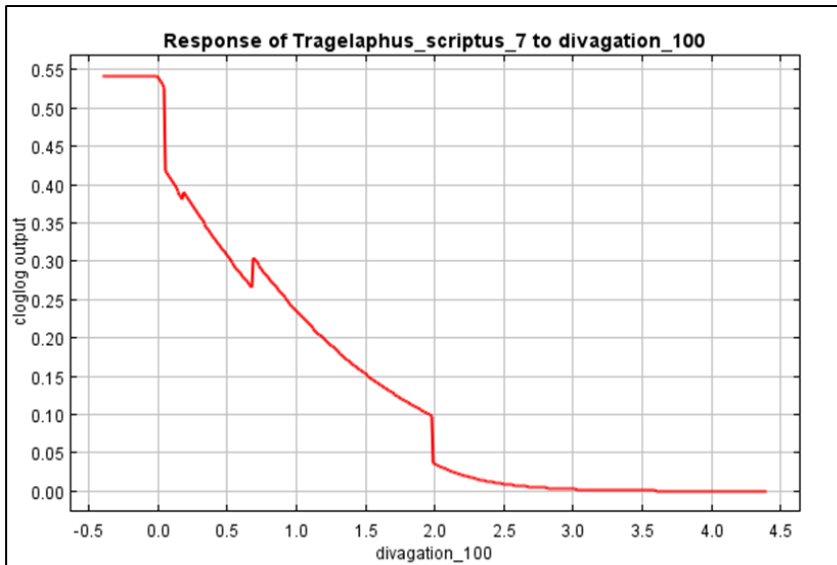
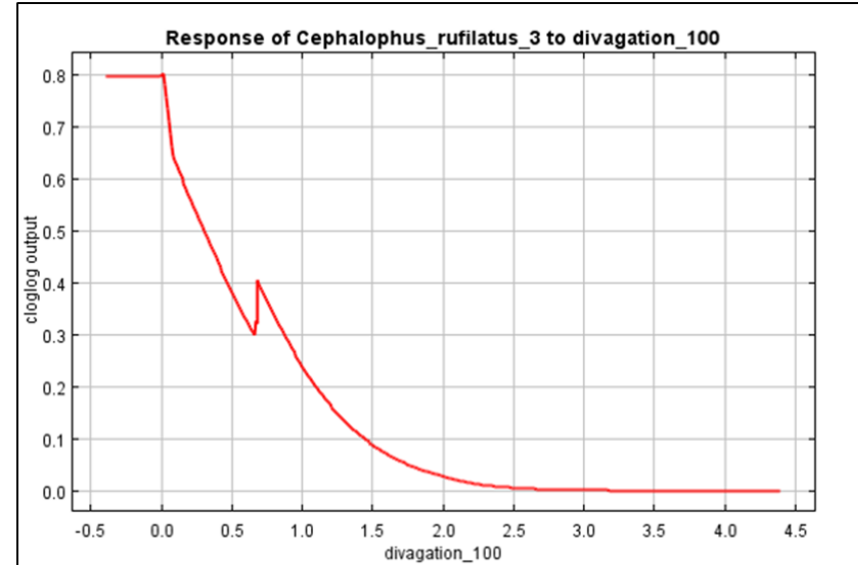
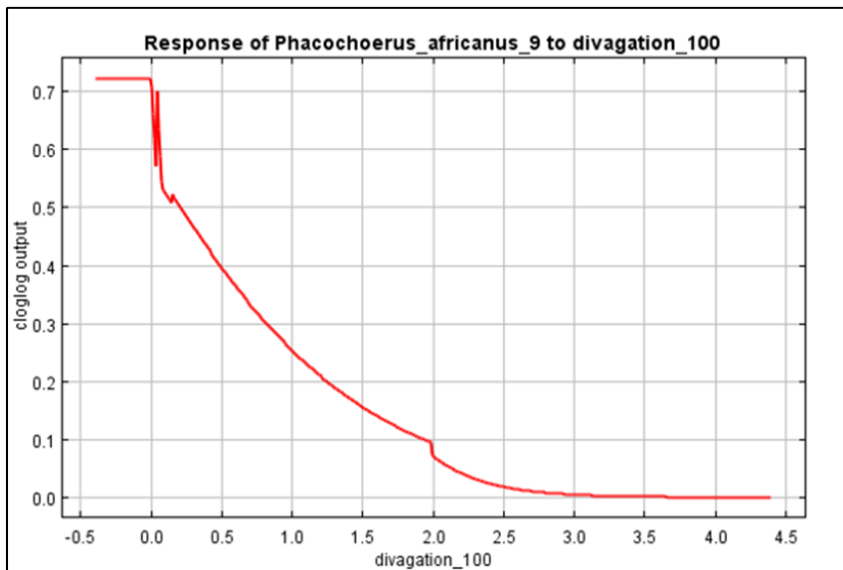
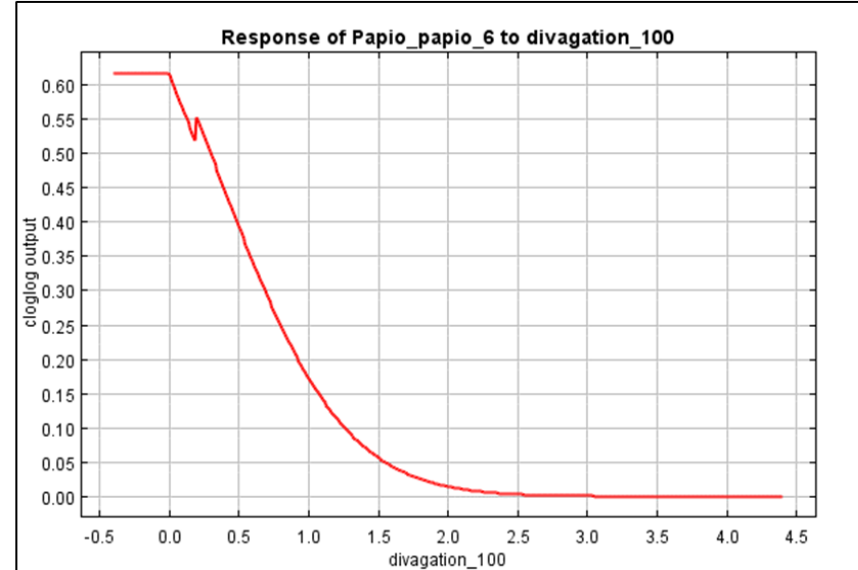
A**B****C****D**

Figure 18 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par la divagation du bétail. A. Guib harnaché, B. Céphalophe à flancs roux, C. Phacochère, D. Babouin de Guinée

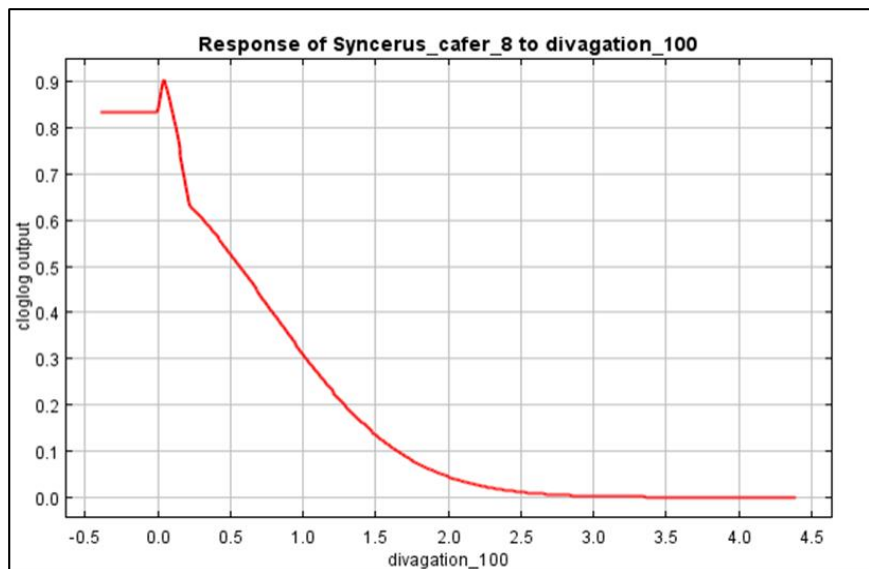
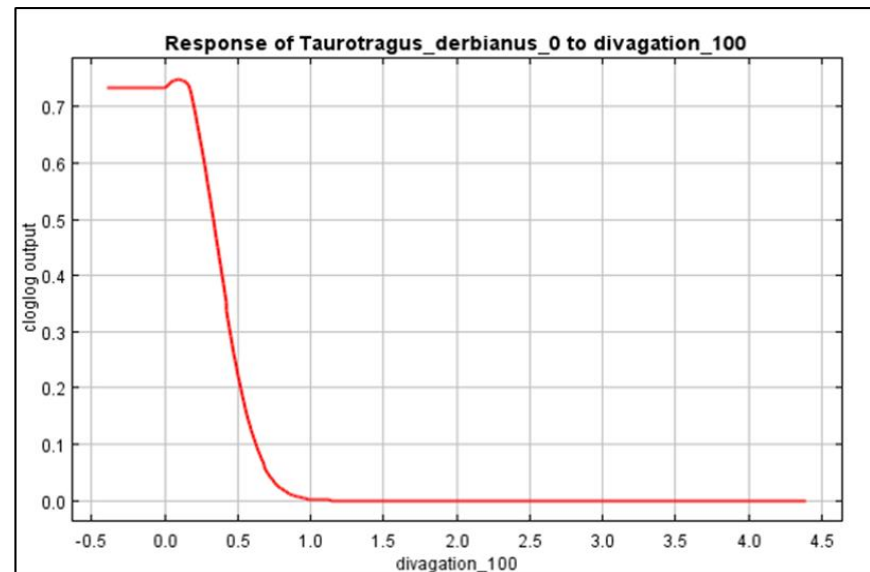
E**F**

Figure 20 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par la divagation du bétail. E. Buffle de savane, F. Éland de Derby

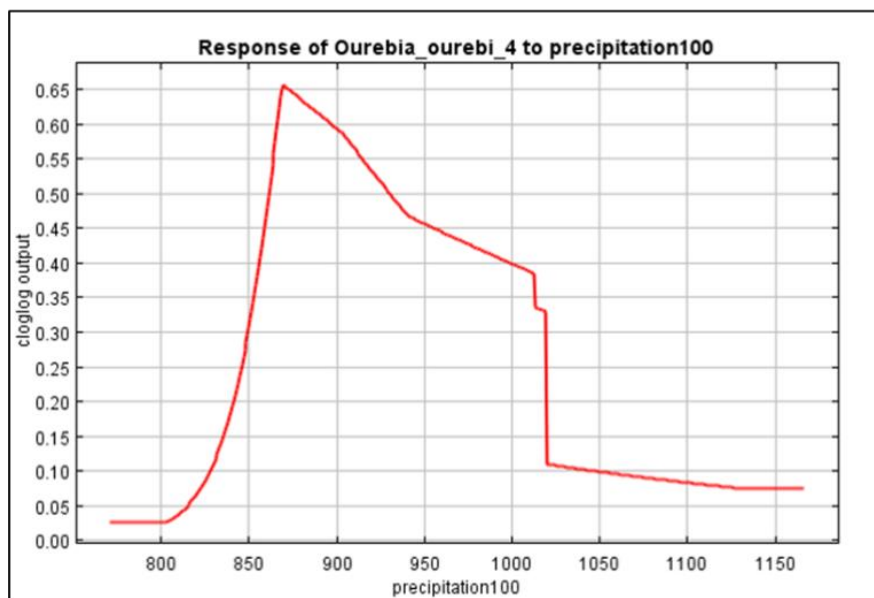
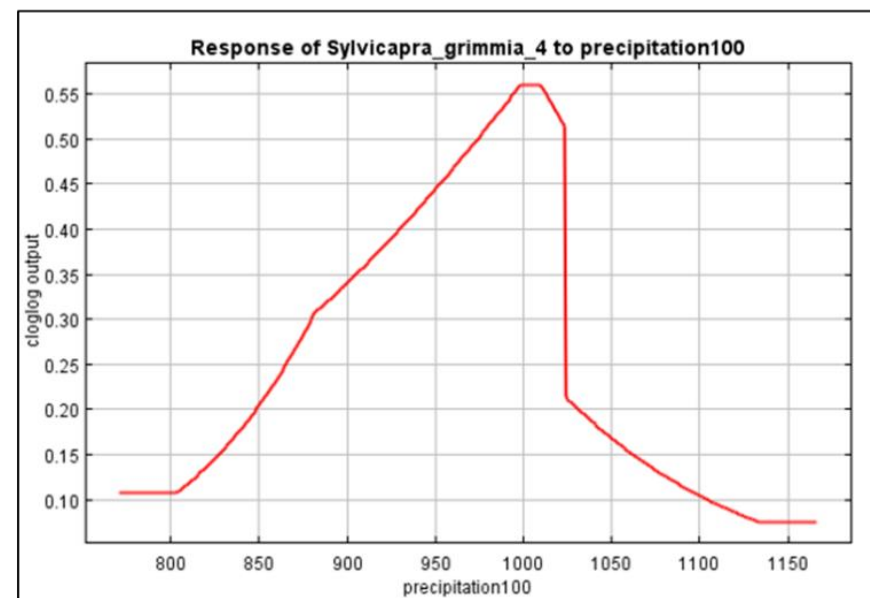
A**B**

Figure 19 : Réponses écologiques des espèces dont la distribution est principalement influencée par les précipitations annuelles. A. Ourébi, B. Céphalophe de Grimm