



# Spatial distribution modeling of the savannah buffalo (*Syncerus caffer brachyceros*) and the western hartebeest (*Alcelaphus buselaphus major*) in Niokolo-Koba National Park

Mallé GUEYE<sup>1</sup>, Woury SOW<sup>1</sup>, Moustapha SY<sup>2</sup>, Assane DIOUF<sup>1</sup>, Ibrahima GUEYE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departement HydroSciences et Environnement, Université Iba Der Thiam de Thiès, Sénégal

<sup>2</sup>Institut Supérieur de Formation Agricole et Rural, Université Alioune Diop de Bambey, Sénégal

<sup>3</sup>Direction des Parcs Nationaux du Sénégal, Dakar

Correspondant principal : Mallé GUEYE (mallegueye@yahoo.fr ; [malle.gueye@univ-thies.sn](mailto:malle.gueye@univ-thies.sn))

Submitted 12/03/2026, Published online on 30/04/2026 in the <https://www.m.elewa.org/journals/journal-of-applied-biosciences-about-jab/> <https://doi.org/10.35759/JABs.219.5>

## ABSTRACT

**Objective:** This study aimed to model the spatial distribution of the savannah buffalo (*Syncerus caffer brachyceros*) and the major hartebeest (*Alcelaphus buselaphus major*) in Niokolo-Koba National Park (PNNK) to identify priority areas for conservation.

**Methodology and results:** Occurrence data collected in 2023–2024 were combined with environmental variables in Maxent. The models showed good predictive performance (AUC 0.92 for savannah buffalo, 0.95 for western hartebeest). Predator density mainly influenced savannah buffalo distribution, while poaching was the key factor for western hartebeest.

**Conclusions and applications:** Both species preferred areas near waterways and receiving 900–1,050 mm of rainfall annually. Favorable areas (>50%) cover 1,496 km<sup>2</sup> for buffalo (16.4% of the park) and 697.5 km<sup>2</sup> for western hartebeest (7.6%). Highly suitable habitats (>67%) cover 1,437.5 km<sup>2</sup> and 744.9 km<sup>2</sup>, mainly in the central and eastern parts of the park. These results provide critical information for population management, park planning, and anti-poaching strategies.

**Keywords:** savannah buffalo, western hartebeest, spatial modeling, poaching, predators, PNNK, conservation

## INTRODUCTION

L’Afrique abrite l’une des plus importantes biodiversités du monde, concentrant près d’un tiers de la diversité biologique terrestre (Bigalke, 1964 ; De Boissieu *et al.*, 2007). Cependant, les populations de grands mammifères déclinent fortement en raison du braconnage, de la fragmentation des habitats et de l’expansion des infrastructures humaines qui limitent les déplacements des ongulés

(Owen-Smith *et al.*, 2020). Entre 1970 et 2005, les grands mammifères ont chuté de 59 % dans les aires protégées africaines, avec une perte particulièrement élevée en Afrique de l’Ouest (85 %) (Craigie *et al.*, 2010). Ce déclin est aggravé par des moyens de gestion souvent insuffisants (Scholte, 2022). Au Sénégal, le Parc National du Niokolo-Koba (PNNK) constitue l’un des derniers refuges de la faune

des savanes ouest-africaines (Fall *et al.*, 2024) mais subit de fortes pressions anthropiques exacerbées par le changement climatique (Rabeil *et al.*, 2019). Parmi les espèces les plus

menacées figurent le buffle de savane (*Syncerus caffer brachyceros*) et le bubale major (*Alcelaphus buselaphus major*) (Photo 1).



**Photo 1 :** Buffles de savane (*Syncerus caffer brachyceros*) et bubales major (*Alcelaphus buselaphus major*) dans le Parc national du Niokolo-Koba (Sénégal).

Le buffle est passé d'environ 5 000 individus en 1978 à moins de 500 au début des années 2000 tandis que le bubale major, autrefois estimé entre 3 000 et 4 000 individus, n'en comptait plus qu'environ 150 en 2019 (Larrivière et Dupuy, 1978 ; Mauvais, 2002 ; Vincke *et al.*, 2005 ; Renaud *et al.*, 2006 ; Rabeil *et al.*, 2019). Ce déclin rapide souligne

l'urgence de mieux documenter leur écologie et leur répartition dans le parc. La présente étude vise à prédire la distribution spatiale du buffle de savane et du bubale major dans le PNNK, à analyser leurs réponses écologiques aux gradients environnementaux et à identifier les facteurs influençant leur répartition.

## MATERIELS ET METHODES

**Zone d'étude :** Le Parc national du Niokolo-Koba (PNNK), situé au sud-est du Sénégal entre 12°30'–13°20' N et 12°30'–14°42' W

couvre 9130 km<sup>2</sup> et s'étend sur les régions de Tambacounda, Kédougou et Kolda (Figure 1).

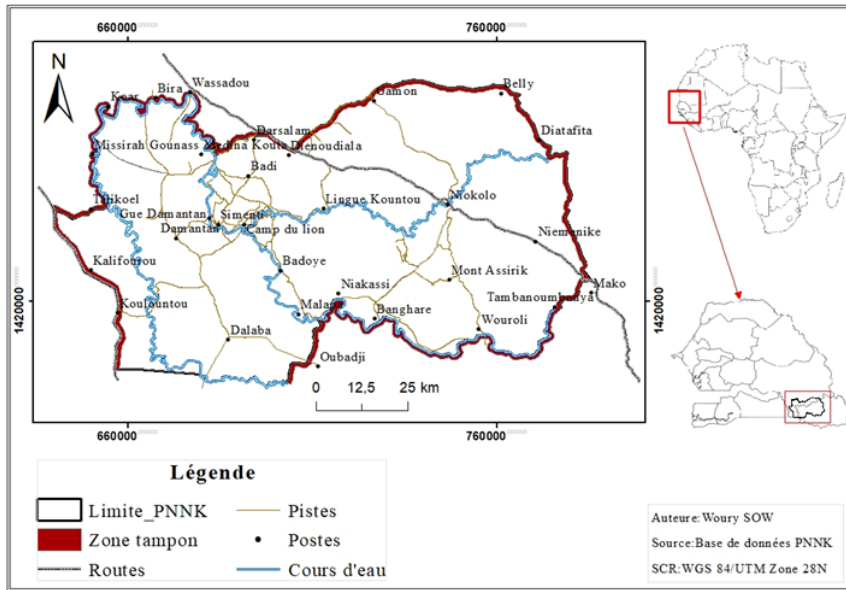


Figure 1 : Carte de localisation du Parc national du Niokolo-Koba

Classé Parc national en 1954 (Howard *et al.*, 2007) et inscrit au Patrimoine mondial de l'UNESCO, il a été retiré de la Liste du patrimoine mondial en péril en 2024. Le climat est de type tropical avec saison sèche marquée et précipitations annuelles de 900–1200 mm (Gueye et Noba, 2015 ; Gueye *et al.*, 2021). Les températures varient de 25 °C à 33°C (Gueye *et al.*, 2021). Le relief est globalement plat, dominé par des plateaux et des vallées, avec un point culminant à 311 m au mont Assirik (Madsen, 1996). La végétation comprend des savanes herbacées, arborées et boisées, des galeries forestières et des marais. Le parc abrite une biodiversité remarquable

comprenant plus de 1500 espèces végétales (Gueye et Noba, 2015) et l'une des dernières populations de grande faune d'Afrique de l'Ouest (Fall *et al.*, 2024).

#### Collecte de données :

**Données d'occurrence :** Les données de présence du buffle et du bubale proviennent du suivi écologique mené en 2023 et 2024, reposant à la fois sur des pièges photographiques et sur des observations directes. En 2023, 220 caméras ont été déployées sur 114 stations tandis qu'en 2024, 288 caméras ont été installées selon une grille systématique de 6 × 6 km (Figure 2).

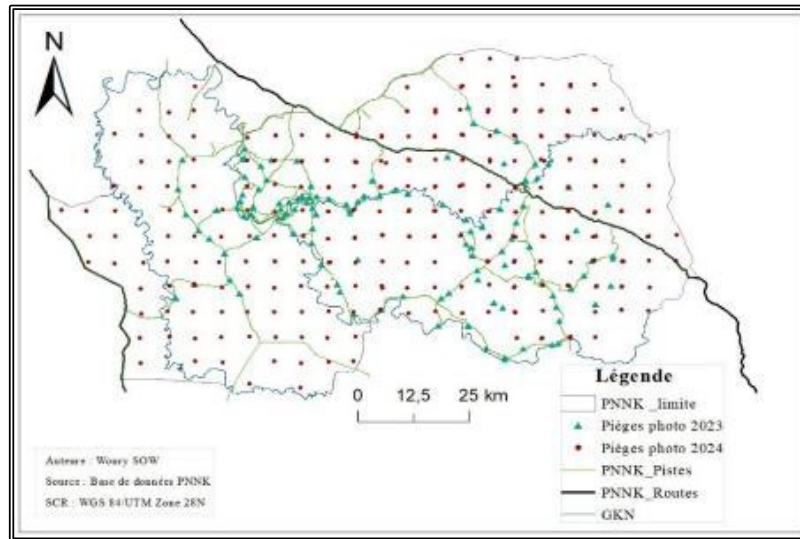
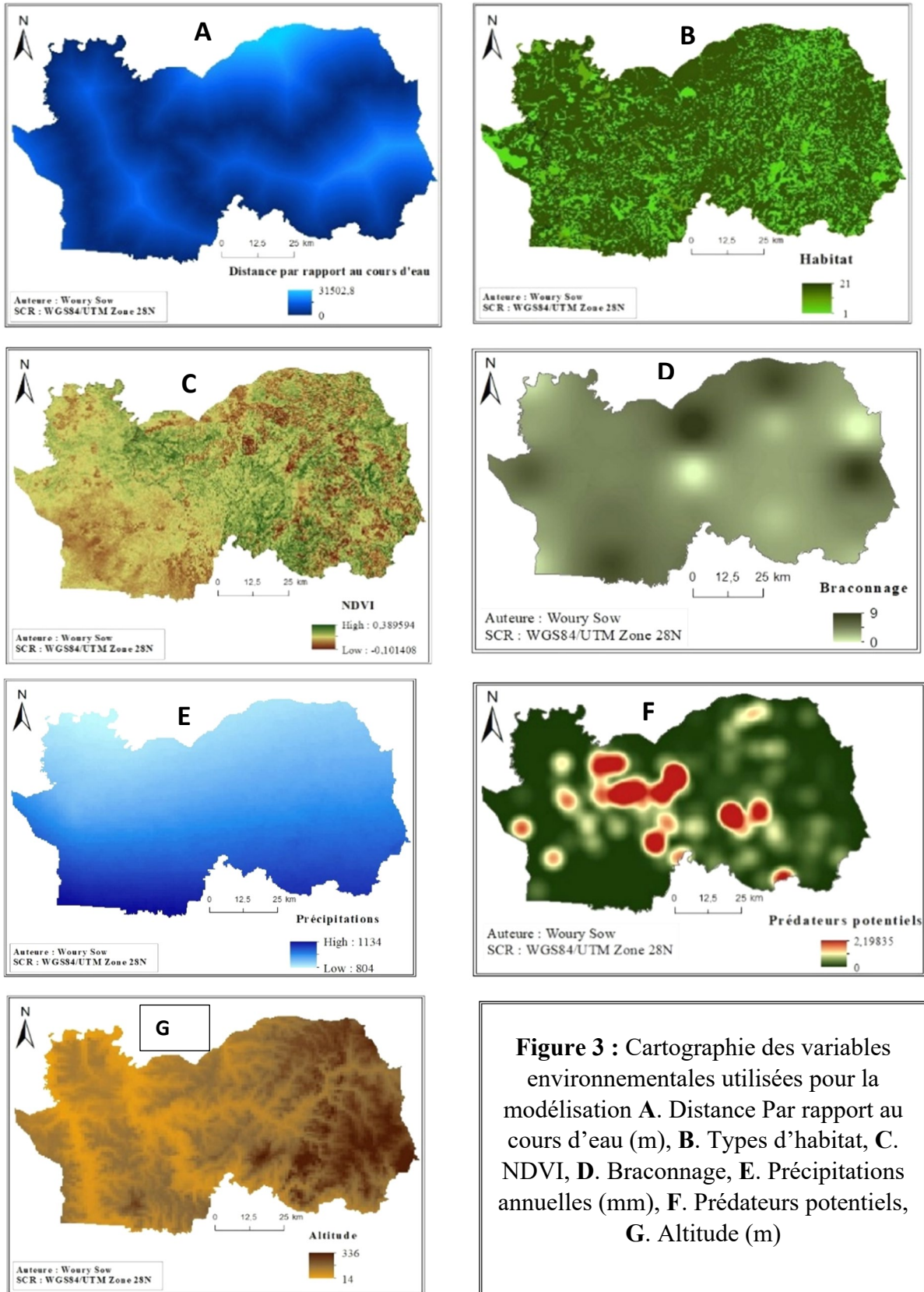


Figure 2 : Emplacement des pièges photographiques de 2023 et 2024

**Variables environnementales :** Les modèles intègrent un ensemble de variables environnementales, anthropiques et biotiques. Parmi les variables environnementales figurent l'altitude, les précipitations annuelles issues de WorldClim v2.1, la distance aux cours d'eau, le NDVI dérivé des images Landsat 8 ainsi que les types d'habitats selon la classification de Tappan (2015). Les variables anthropiques incluent les incidents de braconnage enregistrés dans la base de données du PNNK entre 2015 et 2023. Enfin, les variables

biotiques reposent sur les occurrences des espèces obtenues via le trappage photographique réalisé en 2023–2024.

**Modélisation de la distribution spatiale du buffle de savane et du bubale major dans le PNNK :** La distribution du buffle de savane et du bubale major dans le PNNK a été modélisée avec MaxEnt v3.4.4, fondé sur l'entropie maximale (Phillips *et al.*, 2006) à partir de données de présence 2023–2024 traitées avec PIE v6.95 et de variables environnementales préparées sous ArcMap v10.5 (Figure 3).



**Figure 3 :** Cartographie des variables environnementales utilisées pour la modélisation A. Distance Par rapport au cours d'eau (m), B. Types d'habitat, C. NDVI, D. Braconnage, E. Précipitations annuelles (mm), F. Prédateurs potentiels, G. Altitude (m)

Les rasters ASCII (340 m) incluait altitude, précipitations, habitats, NDVI, distance à l'eau, densité de prédateurs et braconnage. Les modèles, testés avec 30 % des données et 10 répétitions, ont présenté une excellente performance selon les AUC et les courbes ROC >0,9 (Swets, 1988 ; Elith *et al.*, 2011).

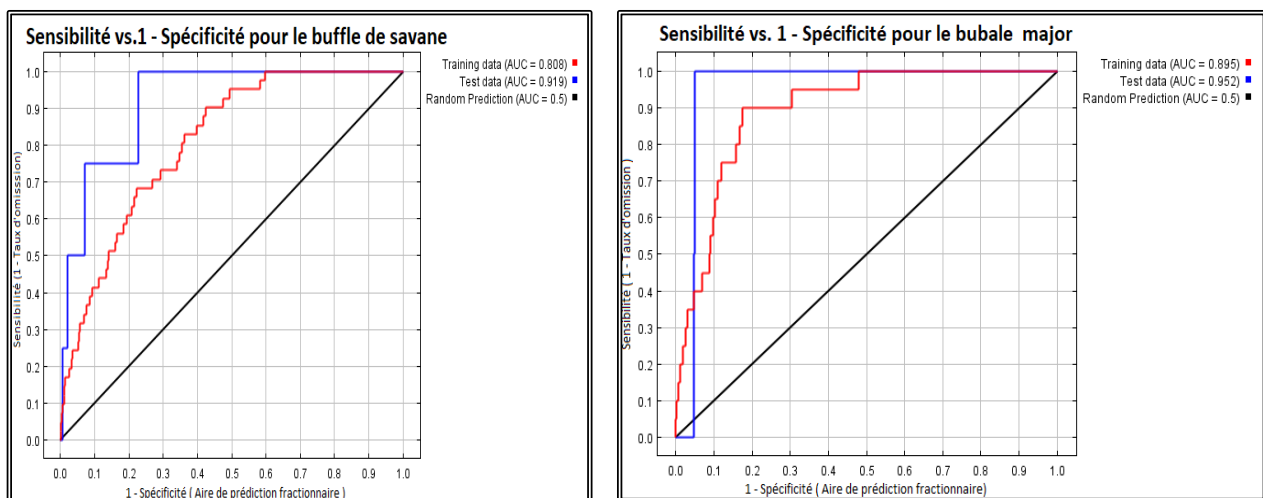
**Analyse des réponses écologiques aux gradients environnementaux :** L'analyse des courbes de réponse écologiques permet d'examiner comment les probabilités de présence du buffle de savane et du bubale major varient le long des gradients environnementaux intégrés dans le modèle. Ces courbes mettent en évidence la sensibilité des espèces à des facteurs clés tels que la distance aux cours d'eau, l'altitude, les précipitations ou les types d'habitats, en identifiant leurs conditions écologiques favorables (Elith *et al.*, 2011). Elles offrent également un aperçu du degré de

différenciation ou de recouvrement de leurs niches écologiques (Soberón et Peterson, 2005), ce qui est essentiel pour comprendre leur répartition dans le PNNK. Enfin, l'examen de ces réponses contribue à vérifier la cohérence biologique des prédictions produites par le modèle Maxent (Merow *et al.*, 2013). Identification des facteurs déterminant la distribution spatiale des deux espèces dans le PNNK : L'influence des variables sur la répartition des ongulés a été évaluée par le Modèle Linéaire Généralisé (GLM) via MaxEnt, utilisant la contribution relative, l'importance de permutation et le test de jackknife (Guisan *et al.*, 2002 ; Elith *et al.*, 2011). Les cartes d'habitat ont été classées en habitats favorables (>50%) et très favorables (>67%) pour estimer les superficies potentielles adaptées à chaque espèce (Abade *et al.*, 2014).

## RESULTATS

**Modélisation de la distribution spatiale du buffle de savane et du bubale major dans le PNNK :** Les modèles de MaxEnt présentent une performance élevée avec des AUC de 0,92

pour le buffle et 0,95 pour le bubale major indiquant une excellente capacité prédictive (Figure 4).



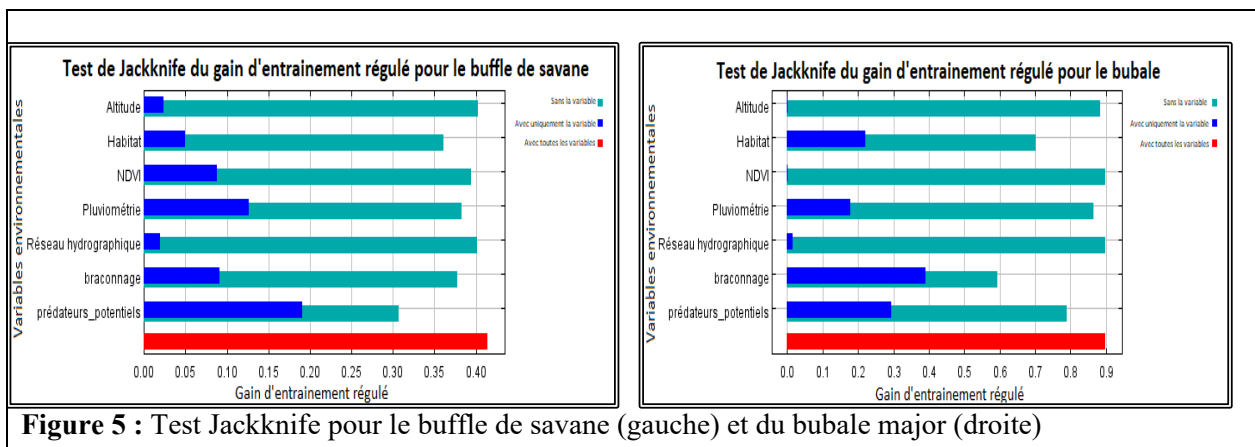
**Figure 4 :** Performance du modèle de prédiction de la distribution du buffle de savane (gauche) et du bubale major (droite)

L'analyse des contributions relatives et de l'importance de permutation des variables dans

les modèles MaxEnt montre que la distribution du buffle de savane est principalement

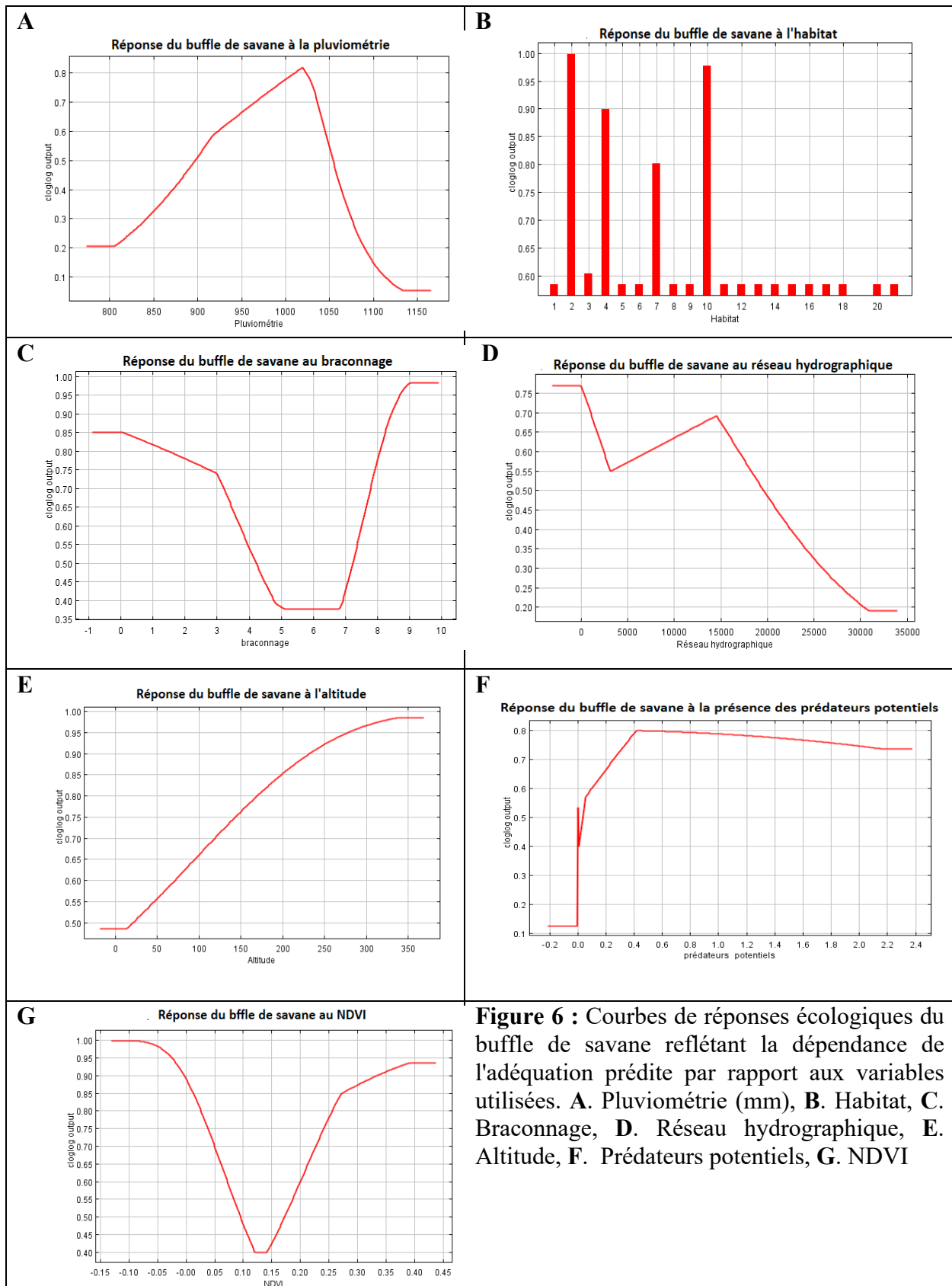
influencée par la présence de prédateurs potentiels qui contribue pour 48,9 % et présente une importance de permutation de 55,5 %. Les autres variables telles que l’habitat (13,8 % de contribution, 2,2 % de permutation), le braconnage (12,4 %, 6,6 %) et la pluviométrie (11,0 %, 13,9 %), exercent une influence notable, tandis que l’altitude (3,5 %, 6,3 %), le NDVI (8,7 %, 4,9 %) et la distance aux cours d’eau (1,8 %, 10,5 %) jouent un rôle plus modeste. Pour le bubale major, le facteur dominant est le braconnage (29,2 % de contribution, 50,4 % de permutation), suivi de

la présence de prédateurs potentiels (36,1 %, 17,7 %) et de l’habitat (26,6 %, 19,7 %). Les autres variables, dont la pluviométrie (6,3 %, 11,1 %) joue également rôle remarquable, l’altitude (1,6 %, 0,8 %), le NDVI (0,1 %, 0,0 %) et le réseau hydrographique (0,1 %, 0,3 %) ont un impact relativement faible sur sa répartition. Ces tendances sont confirmées par les tests de Jackknife, soulignant l’importance majeure des variables anthropiques et de la densité de prédateurs dans la distribution de ces deux ongulés dans le parc.

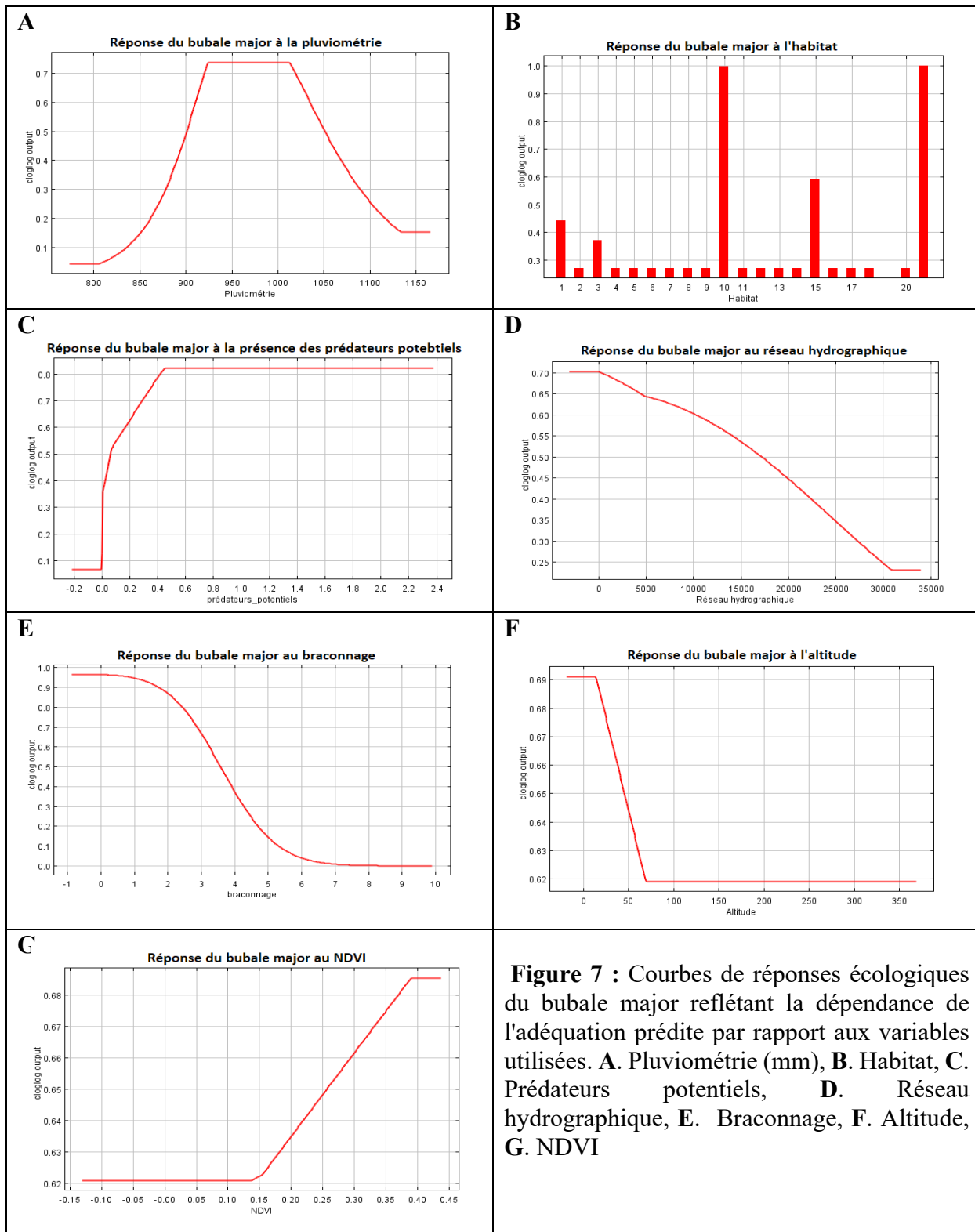


**Analyse des courbes de réponses écologiques aux gradients environnementaux :** La courbe de réponse écologique du buffle de savane à la densité des prédateurs potentiels (Figure 6D) indique que l’espèce supporte des niveaux modérés de prédation et parvient à maintenir une présence notable malgré cette pression. Par ailleurs, les

autres courbes montrent que le buffle privilégie les zones proches des cours d’eau, caractérisées par des précipitations comprises entre 900 et 1 052 mm et par une végétation de densité modérée (NDVI entre -0,15 à 0,10). Les zones faiblement exposées au braconnage apparaissent également comme particulièrement favorables à son occupation.



**Figure 6 :** Courbes de réponses écologiques du buffle de savane reflétant la dépendance de l'adéquation prédite par rapport aux variables utilisées. **A.** Pluviométrie (mm), **B.** Habitat, **C.** Braconnage, **D.** Réseau hydrographique, **E.** Altitude, **F.** Prédateurs potentiels, **G.** NDVI

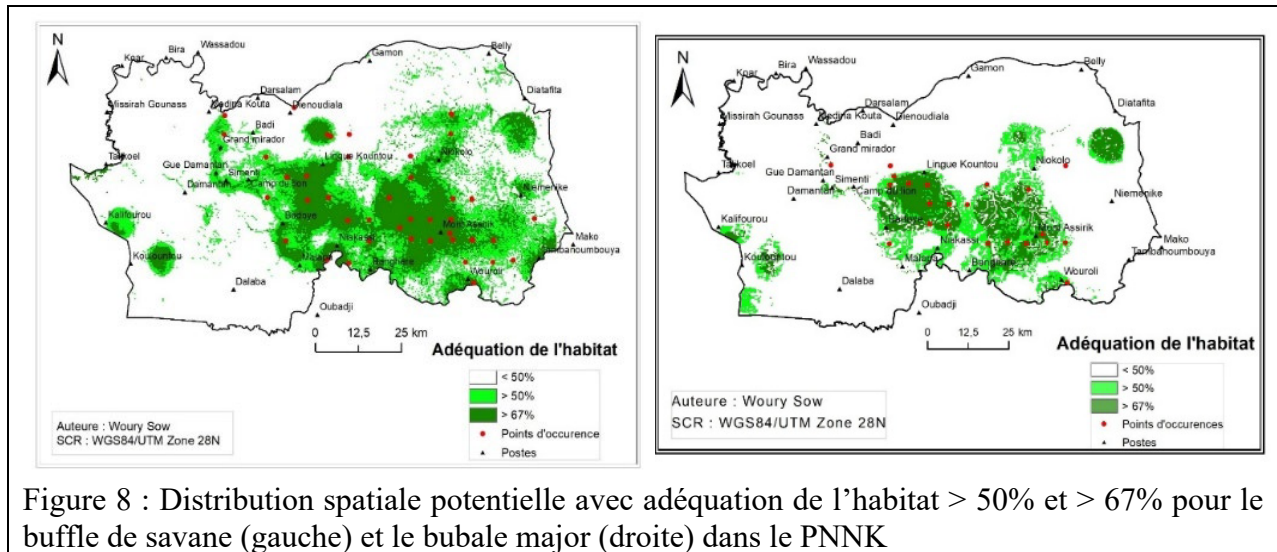


Les courbes de réponses écologiques (Figure 7) montrent que le bubale major évite les zones fortement braconnées (Figure 7D) et occupe

des habitats tels que le bowé, la prairie herbeuse et les forêts claires, avec une tolérance à une certaine pression de prédation

et une faible sensibilité au NDVI et à l'altitude. La cartographie de l'aire potentielle de distribution indique que pour le buffle, 1 496 km<sup>2</sup> (16,4 % de l'aire du parc) présentent une adéquation >50 % et 1 437,5 km<sup>2</sup> (15,7 %)

>67 %, localisés surtout au centre et à l'est du parc. Pour le bubale major, les zones favorables >50 % couvrent 697,5 km<sup>2</sup> (7,6 %) et >67 % 744,9 km<sup>2</sup> (8,2 %), concentrées dans les secteurs centre et sud-est du parc.



## DISCUSSION

**Modélisation de la distribution spatiale du buffle de savane et du bubale major dans le PNNK:** La modélisation de la distribution du buffle de savane et du bubale major dans le PNNK montre de très bonnes performances, avec des AUC respectives de 0,92 et 0,95, ce qui corrobore la fiabilité de l'approche Maxent pour prédire les zones d'occupation potentielle même avec un nombre limité d'occurrences (Phillips *et al.*, 2006 ; Elith *et al.*, 2011). Chez le buffle, la contribution dominante des grands carnivores (48,9 %) concorde avec les travaux de Valeix *et al.* (2009) et Owen-Smith (2002), qui indiquent que la prédation exerce un rôle clé dans la sélection des habitats. La pluviométrie (11 %) et les habitats favorables (jachères, forêts galeries, plans d'eau) confirment également l'influence combinée des facteurs top-down et bottom-up sur la distribution de l'espèce (Smit *et al.*, 2007 ; Cornélis *et al.*, 2011). Pour le bubale major, la forte contribution du braconnage (29,2 %) et de l'habitat (26,6 %) est en accord avec les conclusions de Craigie *et al.* (2010) soulignant

l'impact majeur des pressions humaines sur les populations d'herbivores. La présence de prédateurs (36,1 %) joue un rôle secondaire, ce qui corrobore l'idée que le bubale est plus sensible aux facteurs anthropiques qu'aux contraintes naturelles. Ces résultats appuient la nécessité de renforcer la protection des habitats et les efforts anti-braconnage dans le PNNK.

**Analyses des courbes de réponses écologiques aux gradients environnementaux:** Les courbes de réponse écologique permettent de préciser comment la probabilité de présence varie le long des gradients environnementaux, et appuient l'interprétation des résultats du modèle (Elith *et al.*, 2011 ; Merow *et al.*, 2013). Pour le buffle, la probabilité de présence diminue nettement dans les zones à forte densité de prédateurs, ce qui est en accord avec ses stratégies d'évitement observées dans d'autres savanes africaines (Sinclair et Arcese, 1995). La probabilité augmente dans les zones à pluviométrie favorable (900–1 052 mm/an) et à proximité des cours d'eau, confirmant sa

dépendance aux ressources hydriques (Ryan *et al.*, 2006 ; Fyumagwa *et al.*, 2020). L'effet modéré de l'altitude corrobore une préférence pour les zones légèrement surélevées, moins inondables (Prins, 1996). Chez le bubale major, la probabilité de présence est fortement réduite dans les zones soumises au braconnage, ce qui concorde avec les observations de Nhleko *et al.* (2022). L'espèce montre une affinité marquée pour les habitats ouverts (bowé, prairies, savanes claires) et les zones à précipitations intermédiaires (925–1 015 mm), ce qui confirme son adaptation aux milieux dégagés favorisant la détection des prédateurs et la fuite rapide (Estes, 2012 ; Redfern *et al.*, 2003). L'altitude et le NDVI ont peu d'effet, soulignant que la structure de la végétation

prime sur la biomasse pour cette espèce (Sinclair et Arcese, 1995 ; Ogotu *et al.*, 2014). **Identification des facteurs déterminant la distribution spatiale des deux espèces dans le PNNK :** Globalement, les résultats montrent que le buffle est davantage conditionné par les facteurs naturels top-down et bottom-up (prédateurs et pluviométrie), en accord avec Sinclair *et al.* (2003) et Gandiwa *et al.* (2015). En revanche, le bubale est principalement affecté par les pressions humaines, notamment le braconnage et la dégradation de l'habitat, ce qui corrobore les observations de Nhleko *et al.* (2022) et de l'EWT (2022). Ces différences soulignent l'importance de considérer les contraintes écologiques et anthropiques dans les stratégies de gestion durable et de conservation des ongulés du PNNK.

## CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

Cette étude a permis de modéliser avec succès la distribution spatiale du buffle de savane (*Syncerus caffer brachyceros*) et du bubale major (*Alcelaphus buselaphus major*) dans le Parc national du Niokolo-Koba en combinant des données d'occurrence récentes (2023–2024) et des variables environnementales biotiques et anthropiques. Les performances élevées des modèles MaxEnt (AUC > 0,9) confirment la robustesse de l'approche et la fiabilité des prédictions obtenues. Les résultats montrent des différences marquées dans les facteurs déterminant la répartition des deux espèces. La distribution du buffle de savane est principalement influencée par des facteurs naturels tels que la densité de prédateurs, la disponibilité en eau et la pluviométrie. À l'inverse, la distribution du bubale major est fortement influencée par les pressions anthropiques en particulier le braconnage et la dégradation des habitats soulignant sa grande

vulnérabilité aux activités humaines. La cartographie des habitats favorables et très favorables met en évidence des zones prioritaires de conservation, principalement situées dans les parties centrale et sud-est du parc. Ces zones constituent des noyaux essentiels pour le maintien et le rétablissement des populations de buffles et de bubales dans le PNNK. Ces résultats fournissent des outils concrets pour orienter la gestion adaptative du parc notamment en ciblant les efforts de surveillance et de lutte contre le braconnage en renforçant la protection des habitats clés et en intégrant la dynamique prédateurs-proies dans les stratégies de conservation. Cette approche spatialisée contribue ainsi à une meilleure planification de la conservation des grands herbivores de savane et peut servir de référence pour d'autres aires protégées d'Afrique de l'Ouest confrontées à des pressions similaires.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions la Direction des Parcs Nationaux du Sénégal de nous avoir autorisés à mener ces travaux de recherches dans le Parc National du Niokolo Koba. Nous tenons

également à remercier le Conservateur dudit parc et à travers lui tout son personnel, pour son appui combien appréciable lors des opérations de terrain.

## REFERENCES 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.
- Bigalke, R. C. (1964). Can Africa produce new domestic animals? *New Scientist*, 374, 141–146.
- Cornélis, D. (2011). *Écologie du déplacement du buffle de savane ouest-africain Syncerus caffer brachyceros* [Thèse de doctorat, Université Montpellier II].
- Craigie, I. D., Baillie, J. E. M., Balmford, A., Carbone, C., Collen, B., Green, R. E., & Hutton, J. M. (2010). Large mammal population declines in Africa's protected areas. *Biological Conservation*, 143, 2221–2228.
- De Boissieu, D., Salifou, M., Alou, M., Famara, D., Fantodji, A., Fosso, B., & Tondossama, A. (2007). *La gestion des aires protégées: Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest?* (p. 94).
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57.
- Endangered Wildlife Trust. (2022). *Integrated Report 2022*. <https://ewt.org/wp-content/uploads/2022/12/EWT-Integrated-Report-2022.pdf>
- Estes, R. D. (2012). *The behavior guide to African mammals: including hoofed mammals, carnivores, primates*. University of California Press.
- Fall, K., Thiam, M., & Ndiaye, P. I. (2024). Etude des modèles d'activités diurnes du cobe defassa (*Kobus ellipsirymnus defassa*, Ruppell, 1835) dans le parc national du Niokolo Koba sud-est du Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(4), 1245–1259.
- Fyumagwa, R. D., Kiwango, Y. A., & Mlengeya, T. (2020). Seasonal movements and habitat use of African buffalo (*Syncerus caffer*) in Ruaha National Park, Tanzania. *BMC Ecology*, 20, 27.
- Gandiwa, E. (2013). Top down and bottom-up control of large herbivore populations: A review of natural and human induced influences. *Tropical Conservation Science*, 6(4), 493–505.
- Gueye, M., & Noba, K. (2015). Étude pédologique et phytosociologique de deux mares dans le Parc National du Niokolo-Koba dans un contexte d'invasion biologique par *Mimosa pigra*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 2871–2888.
- Gueye, M., Brandlová, K., Rabeil, T., Diop, M. M., Diop, B., & Hejzmanová, P. (2021). Spatially restricted occurrence and low abundance as key tools for conservation of critically endangered large antelope in West African savannah. *Scientific Reports*, 11, 19397.
- Guisan, A., Edwards Jr, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the

- scene. *Ecological Modelling*, 157(2–3), 89–100.
- Howard, P. C., Wangari, E., & Rakotoarisoa, N. (2007). Mission de suivi réactif conjointe UNESCO/UICN au Parc national du Niokolo-Koba (Sénégal), 21–27 janvier 2007. Rapport du Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO et de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).
- Madsen, J. E., Dione, D., Traoré, A. S., & Sambou, B. (1996). Flora and vegetation of Niokolo-Koba National Park, Senegal. In L. J. G. van der Maesen, X. M. van der Burgt, & J. M. van Medenbach de Rooy (Eds.), *The biodiversity of African plants: Proceedings of the XIVth AETFAT Congress, 22–27 August 1994, Wageningen, The Netherlands* (pp. 214–219). Springer Netherlands.
- Mauvais, J. (2002). Dénombrement aérien de la moyenne et grande faune et localisation des points d'eau, Parc national du Niokolo Koba, saison 2001–2002. Fonds Français pour l'Environnement Mondial.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069.
- Nhleko, Z. N., Ahrens, R., Ferreira, S. M., & McCleery, R. A. (2022). Poaching is directly and indirectly driving the decline of South Africa's large population of white rhinos. *Animal Conservation*, 25(2), 151–163.
- Larivière, J., & Dupuy, A. R. (1978). *Sénégal : ses parcs, ses animaux*. Paris: Nathan.
- Ogutu, J. O., Reid, R. S., Piepho, H. P., Hobbs, N. T., Rainy, M. E., Kruska, R. L., Worden, J. S., Piepho, H. P., & Nyabenge, M. (2014). Large herbivore responses to surface water and land use in an East African savanna: implications for conservation and human-wildlife conflicts. *Biodiversity and Conservation*, 23(3), 573–596.
- Owen-Smith, N. (2002). *Adaptive herbivore ecology*. Cambridge University Press.
- Owen-Smith, N., Hopcraft, G., Morrison, T., Chamaille Jammes, S., Hetem, R., & Van Langevelde, F. (2020). Movement ecology of large herbivores in African savannas: current knowledge and gaps. *Mammal Review*, 50(3), 252–266.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Applications*, 16(6), 1699–1713.
- Prins, H. H. T. (1996). *Ecology and behaviour of the African buffalo*. Springer.
- Redfern, J. V., Grant, R., Biggs, H., & Getz, W. M. (2003). Surface-water constraints on herbivore foraging in the Kruger National Park, South Africa. *Ecology*, 84(8), 2092–2107.
- Rabeil, T., Gueye, M., Hejzmanová, P., Greffrath, R., & Cornut, D. (2019). IUCN Species Survival Commission Antelope Specialist : Group Gnusletter, 36(1).
- Renaud, P., Gueye, M. B., Hejzmanová, P., Antoninova, M., & Samb, M. (2006). Inventaire aérien et terrestre de la faune et relevé des pressions au Parc National du Niokolo Koba. Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature et African Parks Foundation.
- Ryan, S. J., Knechtel, C. U., & Getz, W. M. (2006). Range and habitat selection of African buffalo in the Kruger National Park. *Journal of Wildlife Management*, 70(4), 965–973.
- Scholte, P. (2022). Fifteen years of delegated protected area management in West and Central Africa: five recommendations to guide maturity. *Oryx*, 56, 1–9.

- Sinclair, A. R. E., & Arcese, P. (1995). *Serengeti II: Dynamics, management, and conservation of an ecosystem*. University of Chicago Press.
- Sinclair, A. R., Mduma, S., & Brashares, J. S. (2003). Patterns of predation in a diverse predator–prey system. *Nature*, 425(6955), 288–290.
- Smit, I. P., Grant, C. C., & Devereux, B. J. (2007). Do artificial waterholes influence the way herbivores use the landscape? Herbivore distribution patterns around rivers and artificial surface water sources in a large African savanna park. *Biological Conservation*, 136(1), 85–99.
- Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293.
- Valeix, M., Loveridge, A. J., Chamaillé-Jammes, S., Davidson, Z., Murindagomo, F., Fritz, H., & Macdonald, D. W. (2009). Behavioral adjustments of African herbivores to predation risk by lions: spatiotemporal variations influence habitat use. *Ecology*, 90(1), 23–30.
- Vincke, S., Cornelis, D., & Faye, S. (2005). Suivi écologique des ongulés du Niokolo-Koba. *African Biodiversity Records*, 4(1), 23–37.