

Research Article

MODÉLISATION DE LA DISTRIBUTION DU CROCODILE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST (*CROCODYLUS SUCHUS*) DANS LE BASSIN ACTIF DU FLEUVE NIGER

^{1,*}Ibrahim MADOUYOU, ²Mahaman Zaharadine ARZIKA, ^{1,3}Issa ALHOU AMOUDE, ³Abdoulaye AMADOU OUMANI

¹Université de Diffa, Ecole Doctorale sous régionale Paix-Sécurité-Environnement et Développement Durable Quartier Doubaï, BP: 78 Diffa, Niger.

²Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales et Semi-Aridées (ICRISAT), Rive Droite, BP: 12404, Niamey, Niger.

³Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi, Faculté d'Agronomie et des sciences de l'Environnement, Quartier Ali Dan Sofo, BP: 465 Maradi, Niger.

Received 20th October 2025; Accepted 21st November 2025; Published online 30th December 2025

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif de connaître l'aire de distribution potentielle du crocodile de l'Afrique de l'Ouest (*Crocodylus suchus*) pour une bonne conservation de l'espèce. Dans ce sens, une approche d'ensemble modeling basée sur l'algorithme Max-Ent (Maximum Entropy) simulé via Random Forest (Forêt Aléatoire) sur la plateforme Google Earth Engine (GEE) a été utilisée. La carte de distribution actuelle probable révèle que l'habitat le plus favorable pour le *Crocodylus suchus* est fortement concentré le long du corridor du fleuve Niger et dans les zones humides adjacentes au sud de la région d'étude, où l'eau est disponible en permanence. Les conditions deviennent rapidement défavorables vers le nord, dans les milieux sahéliens et sahariens. Les résultats révèlent que sous le scénario d'émissions intermédiaire (SSP2-4.5), la projection indique une perte d'habitat majeure et une fragmentation dramatique de la distribution du *Crocodylus suchus* d'ici 2040-2070. Les vastes zones de forte probabilité le long du corridor principal se transforment en points isolés (taches vertes), qui pourraient représenter des zones de refuge climatique (ou refugia) où les conditions d'eau et de température restent dans la tolérance de l'espèce. Dans le scénario futur (SSP5-8.5), la grande majorité de la zone du bassin versant actif du fleuve Niger ne présentera plus les conditions climatiques et environnementales appropriées pour le *Crocodylus suchus* entre 2040 et 2070. La distribution devient extrêmement fragmentée, perdant sa forme de bande continue. Seules de multiples petites taches dispersées et isolées subsistent, représentant les dernières poches d'habitat climatiquement approprié ou des zones de refuge, correspondant probablement aux cours d'eau les plus permanents et profonds du système du Niger. Une forte vulnérabilité du *Crocodylus suchus* au changement climatique est ainsi observée. L'évolution attendue de son habitat souligne la nécessité de mesures de conservation urgentes et ciblées, intégrant les sciences du climat, la gestion des ressources en eau et la sensibilisation communautaire.

Mots clés: Modélisation, Max-Ent, Random Forest, *Crocodylus suchus*, Écologie spatiale, Bassin actif, Fleuve, Niger.

INTRODUCTION

Le Niger recèle d'importantes potentialités en matière de faune sauvage avec la présence de nombreuses espèces de mammifères et d'oiseaux, d'importance internationale (Saadou, 1998; Alzouma, 1998). Plusieurs espèces fauniques sont emblématiques dont entre autres par la Girafe d'Afrique de l'Ouest (*Giraffa camelopardalis peralta*), l'hippopotame (*Hippopotamus amphibius*) et le Crocodile d'Afrique de l'Ouest (*Crocodylus suchus*). Certaines espèces de faune, notamment les antilopes sahélo-sahariennes comme l'addax, la gazelle dama, sont en voie de disparition. D'autres espèces comme l'oryx n'existent plus (DFC/AP, 2011). D'où la nécessité de prendre des mesures préventives pour contrer cette érosion de la biodiversité animale. La modélisation est un outil très important d'aide à l'anticipation et à la prise de décision en matière de gestion durable de ces ressources fauniques (Toffa *et al.*, 2022). En comprenant les tendances démographiques et les besoins en matière d'habitat, les gestionnaires de la faune peuvent prendre des décisions éclairées concernant la protection des espèces, la restauration des habitats et l'allocation des ressources. Les modèles de distribution des espèces sont actuellement les principaux outils utilisés pour obtenir des prédictions spatialement explicites de la correspondance des habitats aux conditions favorables à des espèces (Lith J. E. et Eathwick JR L, 2009).

Ils utilisent des algorithmes d'apprentissage automatique pour prédire la distribution spatio-temporelle d'une espèce à l'aide de données climatiques et environnementales.

La modélisation de la répartition des espèces est devenue un outil de recherche très populaire et d'aide à la prise de décision pour une meilleure anticipation et la conservation des ressources biologiques (Toffa 2022). L'approche d'ensemble modeling via Max-Ent simulé par Random Forest sur Google Earth Engine est robuste et à la pointe de la recherche en écologie spatiale. De ce fait, cette approche sera utilisée pour caractériser l'impact de la segmentation de l'habitat, prévoir les réponses de l'espèce au changement climatique et évaluer l'efficacité des zones de présences fauniques (zones banales et protégées).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

La zone d'étude est caractérisée par le bassin actif du fleuve Niger une superficie de 117 252,38 km² et couvre totalement les régions de Tillabéry, Tahoua, Dosso, Maradi et la communauté urbaine de Niamey (Madougou *et al.*, 2025).

*Corresponding Author: Ibrahim MADOUYOU,

¹Université de Diffa, Ecole Doctorale sous régionale Paix-Sécurité-Environnement et Développement Durable Quartier Doubaï, BP: 78 Diffa, Niger.

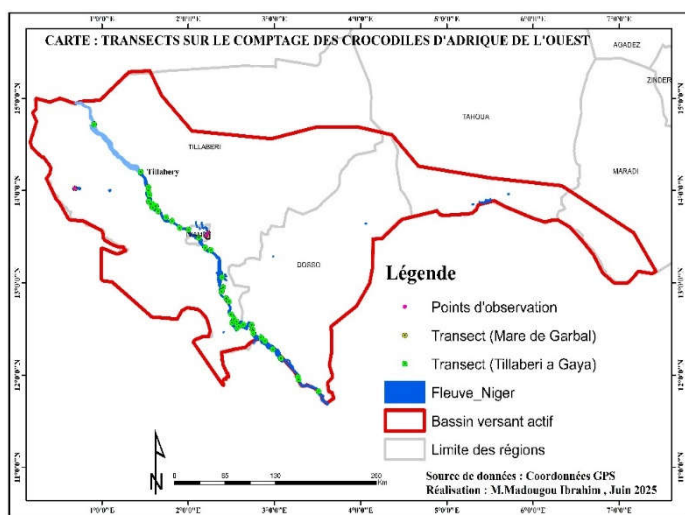


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Importance du choix de la zone d'étude

Le choix de cette zone d'étude s'est fait sur la base de critères suivant : (1) Probabilité d'observer des individus de crocodile; (2) zone relativement calme sur les enjeux sécuritaire; (3) son importance en termes de couverture, car elle représente 78, 18% de la partie du fleuve Niger.

Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué du Crocodile d'Afrique de l'ouest (*Crocodylus suchus*) appartenant à la famille des Crocodyliens. Au Niger, les crocodiles d'Afrique de l'Ouest (*Crocodylus suchus*) sont principalement observés le long du fleuve Niger et certains affluents (Mekrou, Tapoa) ou koris (Mare de Garbal) alimentant ce dernier (Madougou *et al.*, 2025).

Collecte de données

Positions géographiques (occurrences)

Les données ou occurrences utilisées sont collectées dans le fleuve Niger, les affluents et les mares permanentes à partir des inventaires à pied et avec les pirogues sans moteur.

Collecte des Variables Explicatives

Une sélection de variables environnementales jugées pertinentes pour l'écologie de *Crocodylus suchus* a été compilée. Ces variables sont catégorisées comme suit:

- Variables Bioclimatiques (WorldClim V1/BIO) : Température et précipitations (Hijmans *et al.*, 2005).
- Variables Environnementales d'Observation de la Terre (OT): Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) (Amiri & Pourghasemi, 2022) et la distance euclidienne par rapport aux plans d'eau permanents en utilisant la couche spatiale mondiale des point d'eau (Pekel *et al.*, 2016) et un modèle euclidien spatial (Behrens *et al.*, 2018).
- Variables Hydrologiques/Topographiques : incluant l'élévation, la pente et l'aspect du terrain dérivées d'un Modèle Numérique d'Élévation (DEM) de la NASA (Farr *et al.*, 2007).

Extraction et Analyse de la Multi-colinéarité

- Extraction des Valeurs: Toutes les variables raster ont été extraites aux coordonnées géographiques des points d'occurrence du crocodile dans la zone d'étude.
- Analyse de Corrélation : Une matrice de corrélation de Spearman (Xiao *et al.*, 2016) a été calculée entre toutes les paires de variables pour évaluer le degré de dépendance linéaire.
- Évaluation de la Multi-colinéarité : Pour prévenir la redondance des informations dans le modèle, le Variance Inflation Factor (VIF) a été calculé. Seules les variables présentant un VIF inférieur à 10 ont été retenues pour l'entraînement du modèle. Ce processus garantit l'indépendance relative des prédicteurs utilisés (Prakash, 2019).

Analyse (Modélisation de la distribution actuelle)

Le logiciel Excel a été utilisé pour caractériser les données d'occurrence représentant les inventaires réalisés sur l'espèce de crocodile.

Environnement de Modélisation

La modélisation a été entièrement réalisée sur la plateforme Google Earth Engine (GEE), un outil performant pour le traitement de grands ensembles de données géospatiales. Le script de modélisation a été développé et exécuté via Google Colab, permettant une intégration fluide avec l'API de GEE.

Algorithme de Modélisation (Max-Ent via Random Forest)

Étant donné que GEE ne dispose pas d'un algorithme Max-Ent natif, une approche de substitution a été adoptée : (1) Max-Ent Simulation : Le modèle de Random Forest (Rigatti, 2017) a été choisi comme le meilleur classifieur capable de simuler les propriétés de Max-Ent, notamment sa robustesse face aux données de présence seule (Mi *et al.*, 2017); (2) Implémentation : Le modèle RF est entraîné en utilisant les coordonnées d'occurrence du crocodile (présences) et un ensemble de points pseudo-absences générés de manière aléatoire sur la zone d'étude.

Évaluation de la performance du modèle

L'évaluation de la robustesse et de la précision du modèle a été effectuée par la détermination de l'Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC-ROC). AUC-ROC est un instrument largement utilisé pour mesurer la performance des modèles de classification binaire (Gajowniczek *et al.*, 2014; Nellore, 2015; Khan *et al.*, 2019). Un score d'AUC-ROC avoisinant 0,75 ($\pm 0,05$) indique une bonne performance discriminatoire du modèle, distinguant efficacement les zones de présence et d'absence. Une métrique complémentaire, Area Under the Precision-Recall Curve (AUR-PR), a été déterminée pour fournir une évaluation supplémentaire de la précision du modèle, en particulier pour les ensembles de données déséquilibrés. Le score d'importance des variables (Variable Importance) a également été calculé pour identifier les prédicteurs ayant le plus grand impact sur la distribution modélisée du crocodile.

Projection de la Distribution Future

Afin d'évaluer l'impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'espèce, le modèle entraîné (calibré sur les conditions

climatiques actuelles) a été projeté sur des jeux de données climatiques futurs.

Les données du modèle climatique MIROC6 (Thrasher *et al.*, 2012) ont été utilisées considérant deux scénarios du Shared Socioeconomic Pathways (SSP) (O'Neill *et al.*, 2014; Riahi *et al.*, 2017). Il s'agit du Worst-Case scenario ou le scénario d'émissions très élevées (business-as-usual; SSP5-8.5) et du Intermediate-Case scenario ou le scénario de niveau intermédiaire d'émissions (SSP2-4.5).

RÉSULTATS

Distribution actuelle probable

La carte illustre la probabilité de distribution de l'espèce, avec une échelle binaire (1 pour favorable, 0 pour défavorable). Dans les conditions actuelles, cette carte montre que l'habitat climatiquement et environnementalement le plus approprié pour *Crocodylus suchus* est fortement concentré dans le corridor du fleuve Niger et les zones humides adjacentes au sud de la région d'étude (coloration verte), où l'eau est disponible de manière fiable. Les conditions deviennent rapidement défavorables vers le nord, en milieu sahélien et saharien (coloration jaune).

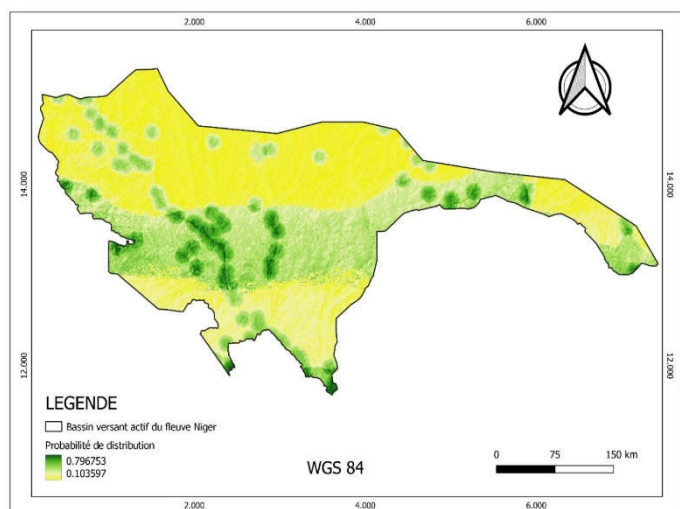


Figure 2: Projection de la distribution de *Crocodylus suchus* (scénario 8.5)

Projection de la distribution de *Crocodylus suchus* avec le scénario 4.5 à l'horizon 2040-2070.

La projection indique que le changement climatique, même sous un scénario d'émissions intermédiaire (SSP2 4.5), est susceptible de provoquer une perte d'habitat majeure et une fragmentation dramatique de la distribution de *Crocodylus suchus* d'ici 2040-2070. Les vastes zones de probabilité élevée (coloration vert foncé) le long du corridor principal se transforment en points isolés (taches vertes). Les taches vertes isolées pourraient représenter des zones de refuge climatique (ou *refugia*) où les conditions d'eau et de température restent dans la tolérance de l'espèce, même si l'environnement environnant devient défavorable.

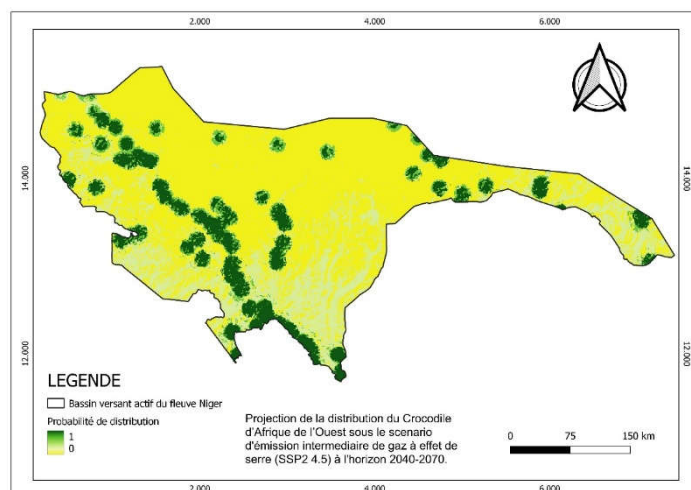


Figure 3: Projection de la distribution de *Crocodylus suchus* (scénario 8.5)

Projection de la distribution de *Crocodylus suchus* avec le scénario 8.5 à l'horizon 2040-2070.

Sous le scénario future SSP5 8.5, la grande majorité de la zone du Bassin versant actif du fleuve Niger ne présentera plus les conditions climatiques et environnementales appropriées pour *Crocodylus suchus* entre 2040 et 2070. La distribution est maintenant extrêmement fragmentée, perdant sa forme de bande continue observée dans les conditions actuelles. Le vert foncé (forte probabilité) est présent sous forme de multiples petites taches dispersées et isolées. Ces taches représentent les dernières poches d'habitat climatiquement approprié ou zones de refuge (*refugia*). Elles correspondent probablement aux cours d'eau les plus permanents et les plus profonds du système du Niger (grands affluents, lacs ou mares très profonds) qui sont capables d'héberger les crocodiles même en période de sécheresse et de forte chaleur.

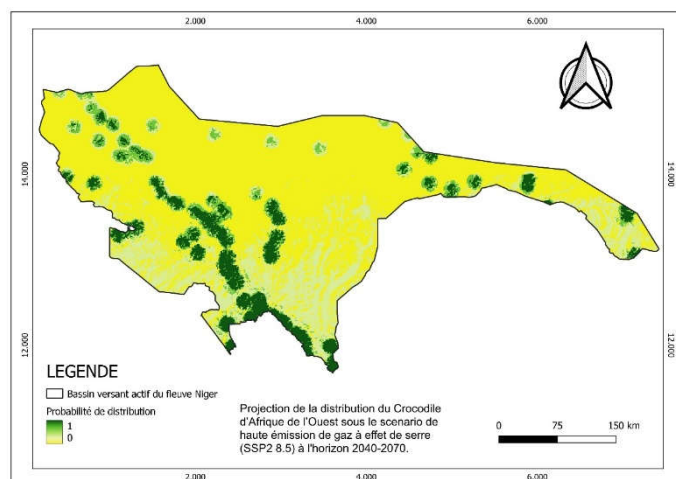


Figure 4: Projection de la distribution de *Crocodylus suchus* avec le scénario 8.5 à l'horizon 2040-2070

DISCUSSION

Distribution actuelle probable de *Crocodylus suchus*

L'observation est tout à fait cohérente avec l'écologie connue des crocodiliens, qui sont des reptiles semi-aquatiques dépendant fortement de la présence d'eau permanente pour leur survie, leur reproduction et la disponibilité de leurs proies (Ross, 1998; Thorbjarnarson *et al.*, 2006). La concentration le long du fleuve Niger

et de ses zones humides adjacentes souligne l'importance vitale de ces écosystèmes dulçaquicoles dans les paysages arides du Sahel. La diminution rapide de la probabilité de présence vers le nord reflète les gradients climatiques et hydrologiques qui caractérisent la transition du Sahel vers le Sahara, où l'évaporation dépasse largement les précipitations, rendant les sources d'eau permanentes rares.

L'utilisation de variables environnementales telles que les précipitations, la température (WorldClim) et la distance aux plans d'eau (NDVI et modèles numériques d'élévation) est pertinente pour capturer ces contraintes écologiques. Les modèles de distribution d'espèces (SDMs) comme celui utilisé ici sont efficaces pour identifier et cartographier les niches écologiques actuelles en se basant sur la corrélation entre les occurrences d'espèces et les conditions environnementales (Guisan & Zimmermann, 2000). Les zones vertes identifiées constituent des habitats essentiels qui devraient être prioritaires pour les efforts de conservation immédiats.

Projection de la Distribution de *Crocodylus suchus* avec le Scénario SSP2-4.5 (2040-2070)

Ce résultat met en évidence la vulnérabilité de *Crocodylus suchus* face aux changements climatiques, même sous un scénario d'émissions modéré. La fragmentation de l'habitat est une conséquence majeure et bien documentée des changements climatiques et anthropiques (Opdam & Wascher, 2004). Pour les espèces aquatiques comme *Crocodylus suchus*, la perte et la fragmentation des cours d'eau permanents sont des menaces directes, menant à l'isolement des populations et à une réduction de la diversité génétique, augmentant ainsi leur risque d'extinction (Dudgeon *et al.*, 2006).

L'émergence de "points isolés" ou "refugia" est un concept clé en biologie de la conservation face au changement climatique (Ashcroft, 2010). Ces refuges sont des zones où les conditions environnementales restent relativement stables ou tolérables pour une espèce malgré les changements généralisés. Leur identification est cruciale pour la planification de la conservation, car ils peuvent servir de centres de persistance et potentiellement de sources pour la recolonisation future. Cependant, ces refuges peuvent être limités en taille et en ressources, ce qui rend les populations qui y résident plus vulnérables à d'autres menaces (par exemple, la pression humaine, la chasse, la pollution). Les gestionnaires devront envisager des stratégies ciblées pour protéger et potentiellement connecter ces refuges.

Projection de la Distribution de *Crocodylus suchus* avec le Scénario SSP5-8.5 (2040-2070)

Le scénario SSP5-8.5 représente un "business-as-usual" avec des émissions de gaz à effet de serre très élevées, menant à des changements climatiques plus drastiques (IPCC, 2021). Les résultats de cette modélisation sont alarmants et prévoient un quasi-effondrement de l'habitat favorable pour le *Crocodylus suchus*. La fragmentation extrême, où seuls les cours d'eau les plus profonds et permanents peuvent soutenir des populations, suggère une réduction drastique de la taille des populations et un risque élevé d'extinctions locales.

Dans ce scénario, la persistance de l'espèce dépendrait presque entièrement de ces refuges aquatiques ultimes. La capacité de ces poches d'habitat à maintenir des populations viables à long terme est incertaine, compte tenu de leur isolement, de la pression potentielle sur les ressources hydriques restantes, et de l'augmentation des

températures qui pourrait affecter la physiologie et la reproduction des crocodiliens (Hutton & Woolgar, 2016). Les efforts de conservation devraient alors se concentrer sur la protection absolue de ces dernières forteresses et sur la mise en œuvre de mesures d'adaptation urgentes, y compris potentiellement des translocations assistées si les refuges deviennent trop petits ou isolés pour maintenir des populations génétiquement diverses. Ce scénario souligne l'urgence d'actions globales pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des actions locales de gestion de l'eau et de protection des zones humides.

CONCLUSION

Cette étude a permis de modéliser la distribution spatiale potentielle actuelle et future du crocodile de l'Afrique de l'Ouest (*Crocodylus suchus*) en utilisant une approche d'ensemble modeling basée sur l'algorithme Max-Ent (Maximum Entropy) simulé via Random Forest (Forêt Aléatoire) sur la plateforme Google Earth Engine (GEE). Les résultats révèlent une forte vulnérabilité du *Crocodylus suchus* au changement climatique. L'évolution attendue de son habitat souligne la nécessité de mesures de conservation urgentes et ciblées, intégrant les sciences du climat, la gestion des ressources en eau et la sensibilisation communautaire. Les recommandations incluent la protection des zones humides clés, l'intégration des variables climatiques dans les plans de gestion de la biodiversité, le déploiement de monitoring écologique, la sensibilisation des communautés locales et l'éventualité de restauration écologique ou de translocation.

RÉFÉRENCES

- Amiri, M., & Pourghasemi, H. R. (2022). Mapping the NDVI and monitoring of its changes using Google Earth Engine and Sentinel-2 images. In *Computers in Earth and Environmental Sciences* (p. 127-136). Elsevier;
- Ashcroft, M. B. (2010). Identifying climatic refugia: a review. *Journal of Biogeography*, 37(8), 1407-1419;
- Behrens, T., Schmidt, K., Viscarra Rossel, R., Gries, P., Scholten, T., & MacMillan, R. A. (2018). Spatial modelling with Euclidean distance fields and machine learning. *European journal of soil science*, 69(5), 757-770;
- Darwall, W. R., Smith, K. G., Allen, D. J., Holland, R. A., Hamilton, C. E., & Ralambondrainy, J. (2011). Freshwater biodiversity: a hidden resource under threat. In *The Biodiversity of African Fresh and Brackish Waters* (pp. 41-76). Springer, Dordrecht;
- Distefano, E. (2005). Human-wildlife conflict in Africa: causes, consequences and management strategies. *Conservation Biology*, 19(5), 1406-1416;
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163-182 ;
- Elith, J., & Graham, C. H. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677-697;
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., & Roth, L. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2);

- Gajowniczek, K., Ząbkowski, T., & Szupiluk, R. (2014). ESTIMATING THE ROC CURVE AND ITS SIGNIFICANCE FOR CLASSIFICATION MODELS'ASSESSMENT. *Metody ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, 15(2), 382-391;
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186;
- Hannah, L. (2015). *Climate Change Biology* (2nd ed.). Academic Press;
- Hewitt, R. E., Briers, R. A., Basset, A., & Calosi, P. (2016). Assisted colonization: a strategy for climate change adaptation? *Conservation Biology*, 30(2), 263-272;
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978;
- Hutton, J. M., & Woolgar, J. D. (2016). *A Global Review of the Status, Management and Conservation of Crocodilians*. IUCN Species Survival Commission;
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA;
- Khan, F. A., Ibrahim, A. A., Rais, M. S., Rajpoot, P., Khan, A., & Akhtar, M. N. (2019). Performance analysis of supervised learning algorithms based on classification approach. 1-6;
- Mi, C., Huettmann, F., Guo, Y., Han, X., & Wen, L. (2017). Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas? Three Asian crane species models provide supporting evidence. *PeerJ*, 5, e2849;
- Nellore, S. B. (2015). Various performance measures in Binary classification-An Overview of ROC study. *IJISSET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(9), 596-605;
- Nichols, J. D., & Williams, B. K. (2006). Monitoring for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(12), 668-673;
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & Van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic change*, 122(3), 387-400;
- Opdam, P., & Wascher, D. (2004). Climate change meets habitat fragmentation: towards new paradigms for landscape ecology. *Landscape Ecology*, 19(7), 803-805;
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422;
- Prakash, P. (2019). Testing equivalency of interpolation derived bioclimatic variables with actual precipitation: A step towards selecting more realistic explanatory variables for species distribution modelling. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 23, 38-41;
- Reid, A. J., Brooks, P. J., Dillon, M. E., Dunham, S., Frazee, S. E., Hebert, R. J., ... & Cooke, S. J. (2019). Climate change and freshwater fish: an international perspective. *Fish and Fisheries*, 20(2), 139-161;
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., & Fricko, O. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*, 42, 153-168;
- Rigatti, S. J. (2017). Random forest. *Journal of insurance medicine*, 47(1), 31-39p;
- Ross, J. P. (1998). *Crocodiles: Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN/SSC Crocodile Specialist Group;
- Thorbjarnarson, J., Messel, H., King, F. W., & Ross, J. P. (2006). Crocodilian conservation: action plans for the 21st century. *Crocodilian biology and conservation*, 1, 1-13;
- Thrasher, B., Maurer, E. P., McKellar, C., & Duffy, P. B. (2012). Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3309-3314;
- Xiao, C., Ye, J., Esteves, R. M., & Rong, C. (2016). Using Spearman's correlation coefficients for exploratory data analysis on big dataset. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 28(14), 3866-3878.
