

# Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes



# RIGES

[www.riges-uao.net](http://www.riges-uao.net)

**ISSN: 2521-2125**

**Numéro 10**

**Juin 2021**



Publiée par le Département de Géographie de l'Université Alassane OUATTARA de Bouaké

## ADMINISTRATION DE LA REVUE

### *Direction*

Arsène DJAKO, Professeur Titulaire à l'Université Alassane OUATTARA (UAO)

### *Secrétariat de rédaction*

- **Joseph P. ASSI-KAUDJHIS**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Konan KOUASSI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Dhédé Paul Eric KOUAME**, Maître-Assistant à l'UAO
- **Yao Jean-Aimé ASSUE**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Zamblé Armand TRA BI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Kouakou Hermann Michel KANGA**, Maître-Assistant à l'UAO

### *Comité scientifique*

- **HAUHOUOT** Asseypo Antoine, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **ALOKO** N'Guessan Jérôme, Directeur de Recherches, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **BOKO** Michel, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)
- **ANOH** Kouassi Paul, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **MOTCHO** Kokou Henri, Professeur Titulaire, Université de Zinder (Niger)
- **DIOP** Amadou, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **SOW** Amadou Abdoul, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **DIOP** Oumar, Professeur Titulaire, Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal)
- **WAKPONOU** Anselme, Professeur HDR, Université de N'Gaoundéré (Cameroun)
- **KOBY** Assa Théophile, Maître de Conférences, UFHB (Côte d'Ivoire)
- **SOKEMAWU** Koudzo, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **HECTHELI** Follygan, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **KADOUZA** Padabô, Professeur Titulaire, Université de Kara (Togo)
- **GIBIGAYE** Moussa, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)

## EDITORIAL

La création de RIGES résulte de l'engagement scientifique du Département de Géographie de l'Université Alassane Ouattara à contribuer à la diffusion des savoirs scientifiques. RIGES est une revue généraliste de Géographie dont l'objectif est de contribuer à éclairer la complexité des mutations en cours issues des désorganisations structurelles et fonctionnelles des espaces produits. La revue maintient sa ferme volonté de mutualiser des savoirs venus d'horizons divers, dans un esprit d'échange, pour mieux mettre en discussion les problèmes actuels ou émergents du monde contemporain afin d'en éclairer les enjeux cruciaux. Les rapports entre les sociétés et le milieu naturel, la production agricole, l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et urbaines, le développement territorial ont fait l'objet d'analyse dans ce présent numéro. RIGES réaffirme sa ferme volonté d'être au service des enseignants-chercheurs, chercheurs et étudiants qui s'intéressent aux enjeux, défis et perspectives des mutations de l'espace produit, construit, façonné en tant qu'objet de recherche. A cet effet, RIGES accueillera toutes les contributions sur les thématiques liées à la pensée géographique dans cette globalisation et mondialisation des problèmes qui appellent la rencontre du travail de la pensée prospective et de la solidarité des peuples.

**Secrétariat de rédaction  
KOUASSI Konan**

## COMITE DE LECTURE

- KOFFI Brou Emile, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Joseph P., Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- BECHI Grah Félix, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- MOUSSA Diakité, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- VEI Kpan Noël, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- LOUKOU Alain François, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- TOZAN Bi Zah Lazare, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Narcisse Bonaventure, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- SOKEMAWU Koudzo, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- HECTHELI Follygan, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- KOFFI Yao Jean Julius, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- Yao Jean-Aimé ASSUE, Maître de Conférences, UAO
- Zamblé Armand TRA BI, Maître de Conférences, UAO

## Sommaire

<p><b>AKADJE-Konan Léocadie Marie-Claude</b></p> <p><i>Suivi spatio-temporel de la mangrove du complexe Sassandra-Dagbégo</i></p>	5
<p><b>DIOP Khalifa, CISSÉ Ahmadou Bamba</b></p> <p><i>Salinisation et risques pour l'agriculture périurbaine à Pikine : analyse des résultats du suivi de l'évolution saisonnière et interannuelle (2016-2017) de la minéralisation des eaux d'irrigation à travers la conductivité électrique</i></p>	21
<p><b>TOFFA Yessia, FANDOHAN Adandé Belarmain, AVOCEVOU-AYISSO Carolle, SODE Akoeugnigan Idelphonse</b></p> <p><i>Distribution potentielle des habitats favorables au genre <i>Cochlospermum Kunth</i> et identification des zones prioritaires pour une conservation résiliente au changement climatique</i></p>	40
<p><b>ABIODOUN Adémola Frédéric, FANDOHAN Adandé Belarmain, TOKO IMOROU Ismaïla, GANGLO Jean Cossi</b></p> <p><i>Modélisation des habitats favorables à la conservation du buffle (<i>Syncerus caffer</i>) dans le contexte des changements climatiques au Bénin en Afrique de l'Ouest</i></p>	61
<p><b>Seausoliait Eusèbe KOUAKOU, Della André ALLA</b></p> <p><i>Les facteurs d'aléas d'inondation et d'érosion dans les petites localités ivoiriennes : cas des villes de Tiassale et N'douci (Sud de la Côte d'Ivoire)</i></p>	78
<p><b>Mamadou DIOMBERA</b></p> <p><i>Tourisme à Saly Portudal (Sénégal) : entre vulnérabilité et résilience face aux défis du changement climatique</i></p>	98
<p><b>LARE Konnegbéne</b></p> <p><i>L'exploitation des bas-fonds dans la Région des Savanes au Nord-Togo : un enjeu important pour un développement socio-économique local</i></p>	123
<p><b>DEGUI Jean-Luc, KOUADIO Kouakou Abraham</b></p> <p><i>Pratiques culturelles et dégradation forestière dans le département de Divo au sud de la Côte d'Ivoire</i></p>	149

<p><b>Drissa KONE, Seydou MARIKO, Abdoul Kadri KOLLI</b></p> <p><i>Rôle du marché de Nièna dans l'approvisionnement et la commercialisation du bétail en République du Mali</i></p>	164
<p><b>YANOGO Pawendkigou Isidore, SANOGO Salifou, YAMÉOGO Joseph</b></p> <p><i>La pastèque (citrullus lanatus), une opportunité pour les acteurs de la commercialisation dans la ville de Koudougou (Burkina Faso)</i></p>	177
<p><b>MASSAR Sène</b></p> <p><i>Le mode d'acquisition foncière à Pikine et à Diaminar : pratiques irrégulières et différenciées entre deux quartiers périphériques et populaires de la ville de Saint-Louis</i></p>	196
<p><b>NGUIJOI Gabriel Cyrille, MBOKA MADIBA Jean Jacques, NKOUNGOU Gregory José, JAKPOU NJIPNANG Doris Nadine, MENDOUGA Yanick, ESSE NDJENG M.P.</b></p> <p><i>Désertion et déperdition scolaire dans la Vallée du Ntem : L'attrait des « pétro-francs CFA » guinéens et gabonais sur les jeunes de l'extrême sud-Cameroun</i></p>	214
<p><b>Estelle ZUO-DIATE, Dominique COURET, Ousmane DEMBELE</b></p> <p><i>Désertion et déperdition scolaire dans la Vallée du Ntem : L'attrait des « pétro-francs CFA » guinéens et gabonais sur les jeunes de l'extrême sud-Cameroun</i></p>	235
<p><b>ASSI-KAUDJHIS Narcisse, GNANKOUEEN Anicet Renaud,</b></p> <p><i>Autoproduction de logements et aménagement de l'espace urbain à Bongouanou (Côte d'Ivoire)</i></p>	260
<p><b>OUEDRAOGO Rawelguy Ulysse Emmanuel, NIKIEMA Dayangnéwendé Edwige, Georges COMPAORE</b></p> <p><i>Prolifération et gestion des bouteilles à usage unique à Koudougou (Burkina-Faso)</i></p>	277

## MODELISATION DES HABITATS FAVORABLES A LA CONSERVATION DU BUFFLE (*SYNCERUS CAFFER*) DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU BENIN EN AFRIQUE DE L'OUEST

**ABIODOUN Adémola Frédéric**, Master en Biodiversité Informatique, Laboratoire de Cartographie « LaCarto », Université d'Abomey-Calavi,  
Email : fredericabioudoun@gmail.com

**FANDOHAN Adandé Belarmain**, Maître de Conférences de Foresterie, Unité de Recherche en Foresterie et Conservation des Bioressources, Ecole de Foresterie Tropicale, Université Nationale d'Agriculture, BP : 43, Kétou, Bénin,  
Email : bfandohan@gmail.com

**TOKO IMOROU Ismaïla**, Professeur Titulaire de Biogéographie, Directeur du Laboratoire de Cartographie « LaCarto », Université d'Abomey-Calavi.  
Email : ismael\_toko@yahoo.fr

**GANGLO Jean Cossi**, Professeur Titulaire des Sciences Forestières, Directeur du Laboratoire des Sciences Forestières, Université d'Abomey-Calavi,  
Email : ganglocj@gmail.com

### Résumé

Ce travail présente une modélisation des habitats favorables à la conservation du buffle (*Syncerus caffer*) dans le contexte des changements climatiques au Bénin en Afrique de l'Ouest. L'objectif général est de prédire les habitats favorables du buffle (*Syncerus caffer*) au Bénin actuellement et à l'horizon 2055. Pour ce faire, l'approche de modélisation de la distribution des espèces avec le logiciel Maxent a été utilisée. Les coordonnées géographiques de présence du buffle et les variables environnementales (bioclimatiques, de proximités et la pente) ont été utilisés. La performance du modèle a été évaluée à l'aide de la courbe caractéristique de fonctionnement du récepteur (AUC), la statistique des compétences réelles (TSS). Les résultats suggèrent que l'espèce est présentement confinée dans les principales Réserves de biosphères du Bénin où 7% du territoire nationale, entre les latitudes entre 10° 55' et 12° 20' de latitude nord. A l'horizon 2055, il est projeté que ces habitats favorables connaîtront une régression de 3% sous les scénarios rcp 4.5 et 8.5. Les tendances suggèrent cependant que l'essentiel de ces habitats principaux lui demeureront favorables. Ces résultats pourraient être pris en comptes par les gestionnaires des Réserves de faunes au Bénin dans le cadre de l'élaboration de plan de gestions des populations de buffle dans un contexte de changement climatique.

**Mots clés :** Distribution spatiale, habitat, *Syncerus caffer*, modélisation et Changement climatique, Benin

## Abstract

This work presents a model of favorable habitats for the conservation of buffalo (*Syncerus caffer*) in the context of climate change in Benin, West Africa. The general objective is to predict the favorable habitats of the buffalo (*Syncerus caffer*) in Benin now and in 2055. To do this, the species distribution modeling approach with the MaxEnt software was used. The geographical coordinates of the presence of the buffalo and the environmental variables (bioclimatic, proximity and slope) were used. The performance of the model was evaluated using the receiver operating characteristic curve (ROC), the true skill statistic (TSS). The results suggest that the species is currently confined to the main Biosphere Reserves of Benin where 7% of the national territory, between latitudes between 10° 55' and 12° 20' north latitude. By 2055, these favorable habitats are projected to decline by 3% under the 4.5 and 8.5 rcp scenarios. However, the trends suggest that most of these key habitats will remain favorable. These results could be taken into account by managers of Benin's wildlife reserves when developing management plans for buffalo populations in the context of climate change.

**Keywords:** Spatial distribution, habitat, *Syncerus caffer*, modeling and climate change, Benin, West Africa.

## Introduction

L'exploitation des ressources naturelles a toujours été la principale activité dont dépend l'Homme. Conscient de l'importance des ressources naturelles et de son étroite dépendance vis-à-vis de celle-ci, l'Homme a au fil du temps élaboré et mis en œuvre des méthodes pour une exploitation et une conservation relativement rationnelle des ressources naturelles. L'une des mesures ayant connu beaucoup de succès est la définition d'aires protégées pour la conservation de la faune. Pendant plusieurs décennies, cette option a su résister à plusieurs menaces essentiellement anthropiques. Malheureusement, de nos jours, la conservation de la nature doit faire face à une menace particulièrement différente en nature : les changements climatiques. Les changements climatiques constituent l'une des principales menaces pour la survie des espèces et l'intégrité des écosystèmes dans toutes les régions de la planète (A. B. FANDOHAN *et al.*, 2015, p.2). Ces changements du climat et méritent qu'on les intègre dans les études liées à la conservation des espèces et de leurs écosystèmes. Le risque est en effet très grand que ces changements viennent exacerber les autres menaces sur la nature comme, l'exposition de besoins en terre de culture particulièrement en Afrique.

Le Bénin, pays côtier de l'Afrique de l'Ouest, dispose d'une biodiversité riche, variant du nord au sud, et d'un réseau de parcs et de forêts classées qui couvre presque 19 % de son territoire (P. D. VINAGBE & O. CHOUINARD 2009, p.3).

Plusieurs espèces de faunes trouvent refuge dans ces aires protégées, dont le buffle de savane *Syncerus caffer brachyceros* et le buffle des forêts, *Syncerus caffer nanus* (M. S. AZANLIN, 2015, p. 06). La conservation à terme de cette faune nécessite désormais l'utilisation d'outils pouvant anticiper les changements environnementaux auxquels elle pourrait faire face. La modélisation de la distribution des espèces et de l'impact potentiel des changements climatiques constitue un de ces outils d'aide à la décision.

MaxEnt (*maximum entropy modeling*) est l'une des méthodes de modélisation les plus puissantes capable de générer de très bonnes informations biogéographiques tout en offrant une bonne discrimination des habitats favorables et non favorables à une espèce d'un point de vue bioclimatique (S. PHILLIPS *et al.*, 2006, p. 231). Néanmoins, cet algorithme avait aussi été très critiqué à cause de certaines faiblesses quant à la prédiction des impacts des changements climatiques sur la dynamique spatio-temporelle des habitats favorables aux espèces (A. B. FANDOHAN *et al.*, 2013, p.454-455). On peut citer les incertitudes liées aux modèles utilisés, les difficultés à paramétrer les interactions écologiques, les réponses idiosyncratiques individuelles des espèces aux changements climatiques, les limitations de disséminations spécifiques à chaque espèce, la plasticité des limites physiologiques et les réponses adaptatives des agents disséminateurs (J. ELITH *et al.*, 2006, p.129). En dépit de cela, MaxEnt procurent des informations bioclimatiques très importantes en matière de prise de décisions. Notamment, il peut permettre l'identification de zones potentiellement favorables à la conservation d'une espèce donnée (H. SCHWARZ, 2012, p. 08) ou aider à évaluer l'efficacité d'un système de réseaux d'aires protégées à conserver une espèce (A. B. FANDOHAN *et al.*, 2015, p. 26). La présente étude vise à prédire la distribution des habitats favorables du buffle (*Syncerus caffer*) au Bénin actuellement et à l'horizon 2055.

## 1- Milieu d'étude

La présente étude a été conduite en République du Bénin (figure 1). Le Bénin est situé en Afrique de l'Ouest dans la zone tropicale entre l'équateur et le tropique du Cancer (entre 6°30' et 12°30' de latitude Nord et entre 1° et 3°40' de longitude Est). La végétation originelle est faite de mosaïque de savanes et de forêts reliques dans la partie méridionale du pays, dénommée couloir sec dahoméen, et représentant une interruption du *continuum* de forêts sempervirentes du centre d'endémisme du Guinéo-Congolais (A.C. ADOMOU, 2005, p.2). La partie septentrionale est caractérisée par des faciès de végétation dominée par *Isoberlina* spp et autres faciès indifférenciés (A.C. ADOMOU, 2005, p. 8). La grande faune dans le milieu d'étude est essentiellement concentrée dans les deux principales aires protégées du pays : La Réserve de Biosphère de la Pendjari et la Réserve de Biosphère du W du fleuve Niger. Elle est caractérisée par la présence du lion (*Panthera leo* (Linnaeus, 1758)), de l'éléphant (*Loxodonta africana* (Blumenbach, 1797)), de l'Hippopotame (*Hippopotamus*

*amphibius* Linnaeus, 1758), du léopard (*Panthera pardus* (Linnaeus, 1758)), du guépard (*Acinonyx jubatus* (Schreber, 1775)) et du Buffle (*Syncerus caffer* (Sparrman, 1779)) (P. NEUENSCHWANDER *et al.*, 2011, p. 259-317).

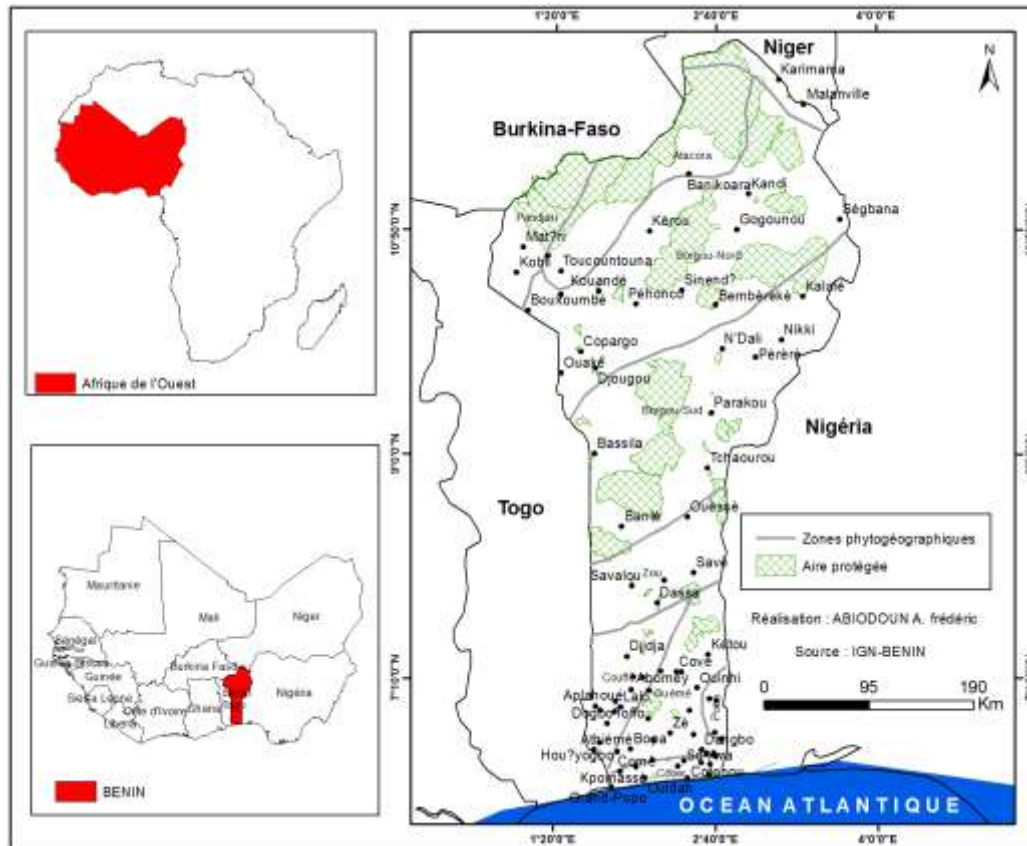


Figure 1 : Localisation géographique du Bénin

## 2- Matériel et Méthodes

### 2.1- Espèce étudiée

Le buffle d'Afrique est un herbivore qui est particulièrement exigeant sur le choix de son habitat. Il doit boire pratiquement tous les jours et dépend donc des sources pérennes d'eau (T. RABEIL, 2003, p. 258-259). Comme le zèbre des plaines (*Equus quagga*), il peut vivre d'herbes grossières. Les troupeaux de buffles fauchent les herbes et font ensuite place aux brouteurs plus sélectifs. Le buffle d'Afrique « *Syncerus caffer* » s'accouple et donne naissance pendant la saison des pluies. Après une période de gestation de onze (11) mois et demi, la femelle met bas un seul petit. Le nouveau-né reste caché dans la végétation à l'abri des prédateurs durant les premières semaines de sa vie. Une fois qu'il est plus robuste, il rejoint le troupeau avec sa mère et reste au centre de celui-ci pour être protégé. Le lien maternel entre la mère et son petit dure plus longtemps que pour la plupart des Bovidés. Cependant, lorsqu'un nouveau veau naît, la liaison se termine et la mère gardera sa progéniture précédente à distance. Néanmoins, le jeune continuera à suivre sa mère pendant 1 an ou 2 ans. Les mâles quittent leur mère quand ils atteignent l'âge de 2 ans et rejoignent

alors les groupes de célibataires. Le buffle d'Afrique a une espérance de vie d'environ 26 ans (L. ADAM, 2008, p. 06-07).

Le buffle d'Afrique est un animal grégaire. Le buffle des savanes, par exemple, forme de grands troupeaux pouvant atteindre jusqu'à 1 000 individus. Le buffle nain, en raison de son habitat plus restreint, forme des groupes plus petits composés au maximum de 12 individus. Vivre en troupeau comporte certains avantages tels que le partage d'informations entre les membres du groupe concernant les meilleurs endroits pour se nourrir, et offre également une protection accrue contre les prédateurs (J. BAILLIE *et al.*, 2004, p. 04).

Les liens qui unissent les femelles d'un même troupeau sont très forts. Lorsqu'un des membres est attaqué par un prédateur comme un lion, le reste du troupeau répond aux appels de détresse et se précipite pour aider leur congénère. Un troupeau de buffles est capable de chasser une troupe de lions pour se protéger. Vivre en grands troupeaux n'est pas aussi important pour le buffle nain, car il vit dans un habitat qui ne convient pas aux grands carnivores, tels qu'aux lions, et il peut facilement se retirer sous le couvert de la forêt si cela se révèle nécessaire. Pour échapper à la chaleur, le buffle africain passe le plus clair de son temps couché à l'ombre. En début de matinée et en fin d'après-midi, on peut l'observer près des sources d'eau (UICN 1989, p. 1034),

## **2.2- Données de l'étude**

### **2.2.1. Données d'occurrence**

Les données d'occurrence utilisées dans ce travail sont des données de présence de l'espèce. Ces données sont mobilisées lors des recensements de la faune sauvage effectués par les éco-gardes et agents forestiers durant des patrouilles de 2015 à 2018 sous la direction du Centre National de Gestion des Ressources de Faune (CENAGREF). Les données ont été complétées avec les occurrences téléchargées à partir du site du GBIF (<http://api.gbif.org/v1/occurrence/download/request/0028284191105090559680.zip>). Au total 1319 points d'observations de l'espèce ont été initialement mobilisés dont 387 proviennent du CENAGREF et 932 du site du GBIF. Les doublons ont été ensuite supprimés avec le tableur Excel 2013. Au final, un jeu de données de 1245 points d'occurrence a été utilisé pour tourner le modèle.

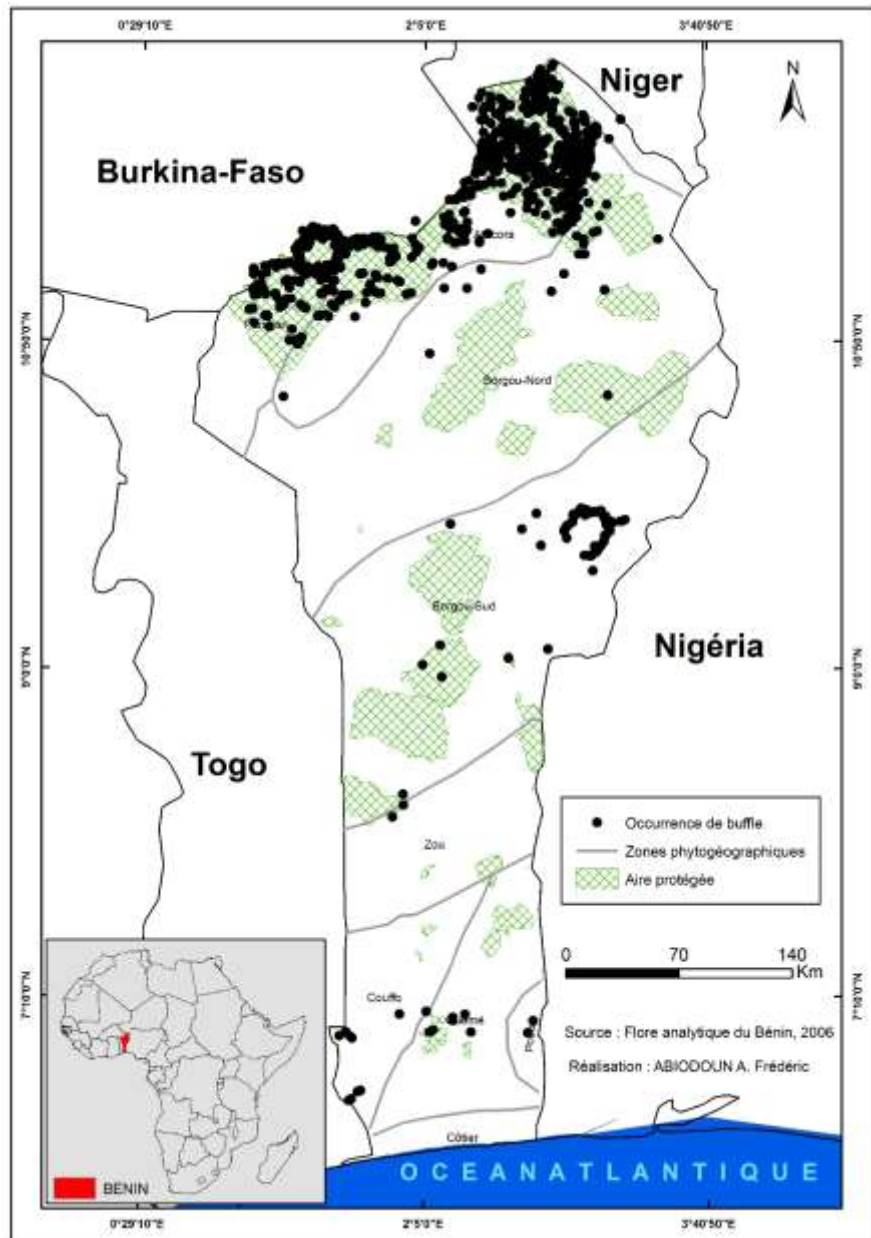


Figure 2 : Distribution spatiale des points d'occurrence du buffle au Bénin

### 2.2.2. Variables climatiques

Les données climatiques du présent et du futur à l'horizon 2055 utilisées dans cette étude ont été téléchargées à partir du site d'Africlim avec une résolution de 30 secondes (soit approximativement 1km) (<https://cran.r-project.org/web/packages/raster/>). Les variables du présent sont dérivées des données mobilisées par worldclim sur la période 1950-2000 (P. J. PLATTS *et al.*, 2015, p.104). Les projections faites pour 2055 ont été faites sous les scénarios d'émissions rcp4.5 et rcp8.5. Ces scénarios ont été utilisés *a priori* car ils prévoient une situation jugée plus probable pour l'Afrique à l'horizon 2055 (P. J. PLATTS *et al.*, 2015, p. 103).

Quatre variables bioclimatiques ont été sélectionnées parmi les variables téléchargées du site d'Africlim pour représenter les conditions climatiques qui prévalent dans le milieu d'étude et selon l'écologie de l'espèce. Il s'agit de la saisonnalité de la température (bio 4), la durée de la plus grande saison sèche (llds), l'évapotranspiration potentielle (pet) et la pluviométrie moyenne annuelle (bio 12) (P. J. PLATTS *et al.*, 2015, p. 103). Des variables évapotranspiration potentielle (pet) et pluviométrie moyenne annuelle (bio 12), il a été généré une nouvelle variable qui est l'indice d'aridité (di) suivant la formule :

$$di = \frac{pet}{bio\ 12}$$

**Formule 1 : Indice d'aridité**

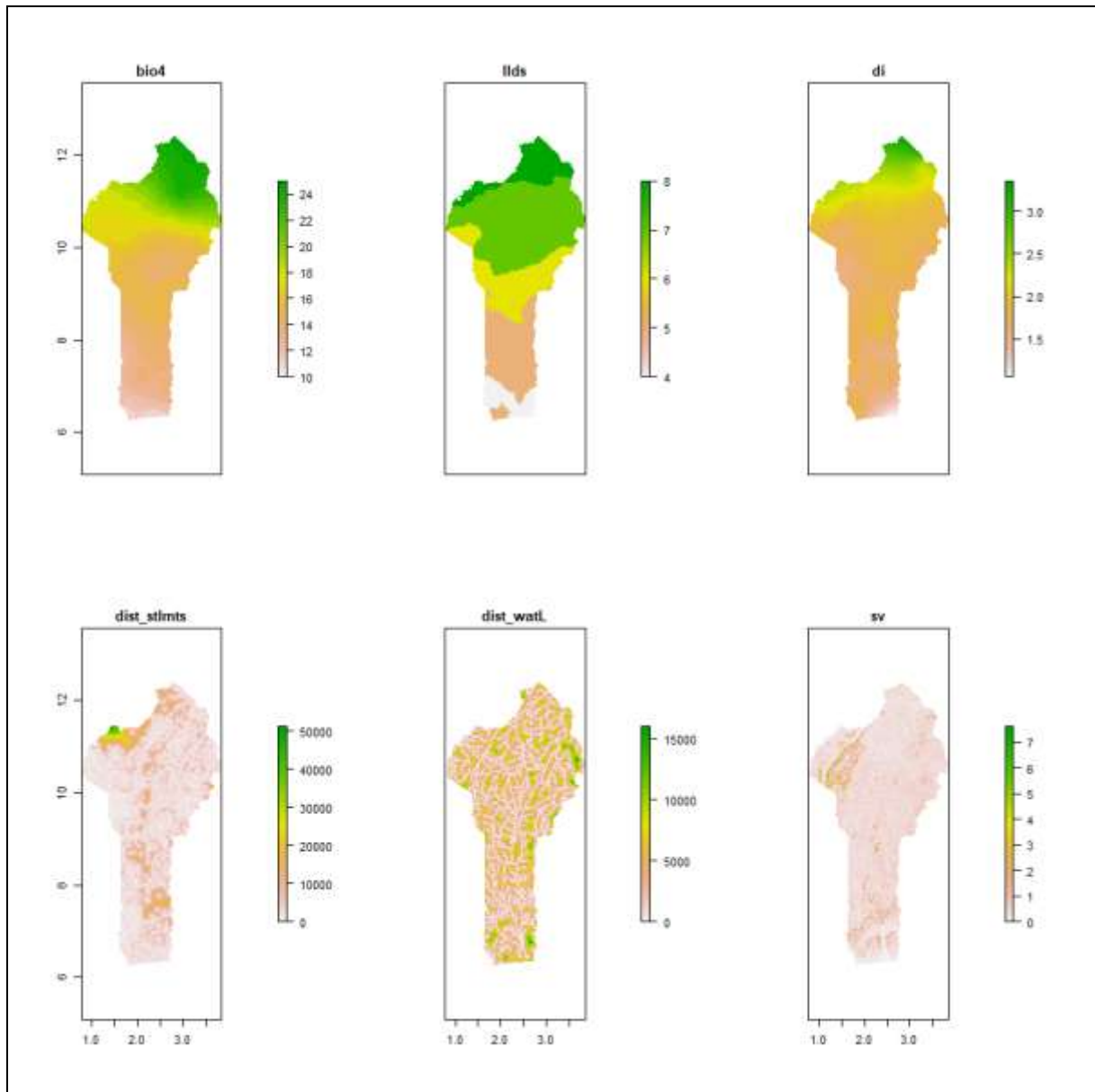
où *pet* (en mm) = évapotranspiration potentielle calculée suivant et *bio 12* (en mm) = température moyenne annuelle (T°C max - T°C min) tel que décrit par P. J. PLATTS *et al.*, (2015, p105).

### 2.2.3. Variables géomorphologiques

La pente (variation topographique) a été intégrée dans le modèle. Il s'agit de la variable représentative du relief dans le milieu d'étude. C'est pour limiter d'éventuelles prédictions d'habitats favorables à l'espèce sur ces types de milieu à forte pente qui sont biologiquement irréalistes pour le buffle. Elle a été générée à partir de la couche d'élévation de résolution 30m (téléchargée sur le site de DIVA-GIS <https://www.diva-gis.org/gdata>), en utilisant le logiciel ArcGIS 10.3 avec la fonction « *slope* »

### 2.2.4. Variables de proximité

Les variables de proximité à savoir : la distance par rapport aux cours d'eau (*dist\_watL*) et la distance par rapport aux habitations humaines (*dist\_stlmts*) ont été générées avec la fonction « distance euclidienne » dans ArcGIS 10.3. Ces variables ont été intégrées dans le modèle pour qu'il considère la disponibilité des ressources en eau d'une part et la pression démographique d'autre part (F. MATAWA *et al.*, 2012, p190). La figure 8 présente la plage de variation de toutes les variables utilisées.



**Figure 3 : Variables explicatives intégrées dans le modèle**

*Légende*

- *Dist\_water* : Distance euclidienne à partir des ressources en eau ;
- *Slope Variation (Pente)* : Formation géomorphologique générée à partir des couches d'élévation ;
- *di* : Indice d'aridité (pet/bio12) : indicateur numérique du degré de sécheresse du climat à un endroit donné ;
- *Dist\_setlmts* : Distance euclidienne à partir des habitations humaines ;
- *bio4* : Saisonnalité de la température (Coefficient de variation) ;
- *llds* : Durée de la plus grande saison sèche.

**2-3 Calibrage des modèles**

L'algorithme utilisé pour modéliser les habitats de l'espèce est de l'entropie maximale (MaxEnt version 3.3.3k). Ce logiciel est conçu pour utiliser les données d'occurrence de présence uniquement en format Séparateur Point Virgule (CSV). La

sortie logistique du modèle est obtenue, pour avoir la probabilité des pixels d'être appropriée à la présence de l'espèce. Cette sortie a été utilisée pour les diverses fins d'analyse et d'interprétation. Les courbes de réponse ont été utilisées pour évaluer l'influence de chaque variable environnementale dans le modèle et les tests de Jackknife ont été employés pour mesurer l'importance de chacune d'elles pour le modèle. Les paramètres additionnels suivants ont été réglés : 30000 backgrounds points, 10 répliques, la moitié des points pour calibrer et tester le modèle.

#### **2-4 Evaluation et validation des modèles**

La modélisation de la niche écologique est l'un des moyens efficaces pour évaluer la distribution des habitats favorables et projeter l'impact des changements climatiques sur une espèce. De nombreuses méthodes utilisant seulement des données de présence, comme l'algorithme MaxEnt ont été développées et peuvent rendre possible la modélisation de la niche écologique quel que soit l'échelle (Elith *et al.*, 2006, p132).

La performance du modèle a été évaluée à l'aide de la courbe caractéristique de fonctionnement du récepteur (AUC) (J. ELITH *et al.*, 2006, p135, A. T. PETERSON *et al.*, 2008, p68), la statistique des compétences réelles (TSS) (O. ALLOUCHE *et al.*, 2006, p1224; J. ELITH *et al.*, 2006, p136). L'AUC est la probabilité dans un modèle qu'un point de présence de l'espèce soit bien différencié qu'un point d'absence (J. ELITH *et al.*, 2006, p140). Un modèle est considéré comme ayant une bonne performance lorsque son AUC est supérieur ou égal à 0,75 ( $AUC \geq 0,75$ ) (J. ELITH *et al.*, 2006, p137).

Le TSS est la capacité du modèle à détecter avec précision les vraies présences (sensibilité) et les véritables absences (spécificité). Un modèle avec  $TSS \leq 0$  indique une prédiction aléatoire, tandis que celle avec un TSS proche de 1 ( $TSS > 0,5$ ) a un bon pouvoir prédictif (O. ALLOUCHE *et al.*, 2006, p1226).

$$TSS = \frac{ad - bc}{(a + c)(b + d)} = \text{sensibilité} - \text{spécificité} - 1$$

**Formule 2 :** statistique des compétences réelles (TSS)

#### **2-5 Calcul des superficies des habitats favorables**

L'estimation des superficies des aires favorables et non favorables au buffle est faite dans le logiciel QGIS 2.18.4. Les pixels de valeurs définies sont extraits des modèles sortis de MaxEnt et leur superficie sont calculées avec la fonction reclassification par tables. Pour ce faire, la valeur seuil de la présence minimale d'entraînement qui est un seuil plus conservatif pour catégoriser les sorties logistiques de Maxent (J. C. GANGLO *et al.*, 2017, p375).

### 3-Resultats

#### 3-1 Validation du modèle de prédiction des habitats favorables à la présence actuelle et futur du *Syncerus caffer*

La figure 4 est la courbe des caractéristiques la courbe du *receiver operating characteristic* indiquant la valeur de l'AUC. L'AUC du modèle indique une valeur de 0,916 avec un écart-type de 0,005. Cela suggère un modèle d'un bon niveau de performance ( $AUC > 0,75$ ). De même, la valeur du TSS est comprise entre 0,20 et 0,86, en considérant les valeurs du minimum et maximum de présence considérées par le modèle.

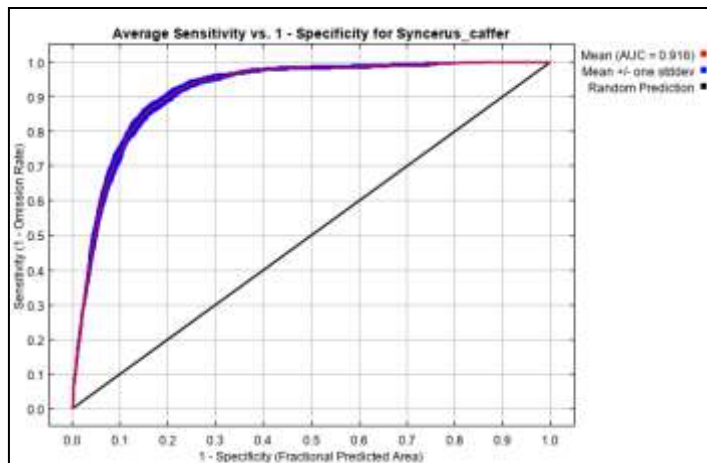


Figure 4 : Courbe ROC et région en dessous de la courbe (AUC

#### 3-2 Analyse des contributions variables

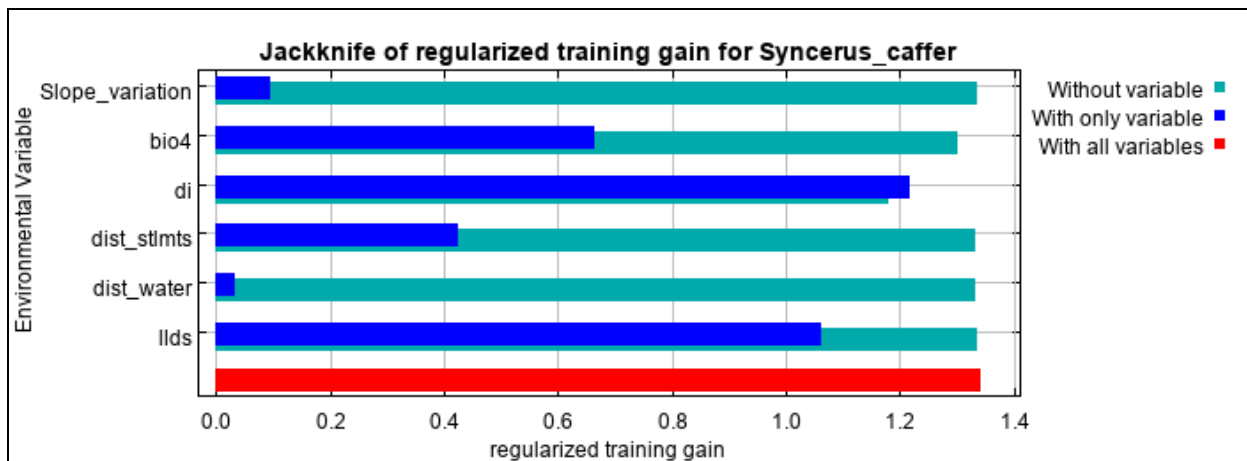
Le tableau 1 donne des estimations des contributions relatives des variables environnementales au modèle Maxent. Pour déterminer la première estimation, à chaque itération de l'algorithme d'apprentissage, l'augmentation du gain régularisé est ajoutée à la contribution de la variable correspondante, ou soustraite si la variation de la valeur absolue de lambda est négative. Pour la deuxième estimation, pour chaque variable environnementale, les valeurs de cette variable e sont permutées de façon aléatoire pour tester l'effet de suppression de ladite variable sur le modèle. Le modèle est réévalué sur les données permutées et la baisse résultante de l'AUC normalisée en pourcentages est indiquée dans le tableau 1.

**Tableau 1 : Variables environnementales et importance dans la distribution du *Syncerus caffer***

Variables	Permutation importance (%)
Indice d'aridité	89,1
Durée de la saison sèche la plus longue	2,4
Saisonnalité de la température	6,9
Distances aux habitations humaines	0,5
Distance aux sources d'eau	0,4
Variation de la pente	0,6

Le tableau 1 met en exergue le pourcentage d'importance de permutation. Il ressort de son analyse que l'indice d'aridité est la variable ayant la plus grande influence sur la distribution de l'espèce.

La figure 5 montre les résultats du test de Jackknife. La variable environnementale avec le gain le plus élevé lorsqu'elle est utilisée de manière isolée est *di*, qui semble donc contenir les informations les plus importantes pour le modèle. Elle représente également celle qui diminue le plus le gain d'information lorsqu'elle est omise. Elle contient donc le plus d'informations qui ne sont pas présentes dans les autres variables.



**Figure 5 : Test sur l'importance des variables dans le modèle**

Légende : Slope\_variation : Variation de la pente ; Bio4 : Saisonnalité de la température ; dist\_stlmts : Distance aux habitations humaines ; dist\_water : distances aux points d'eau ; llds : Durée de la saison sèche la plus longue ; di : indice d'aridité.

La figure 6 met en relief les habitats favorables et non favorables de *Syncerus caffer* au Bénin appliqués aux couches environnementales selon les scénarios rcp 4.5 et rcp 8.5

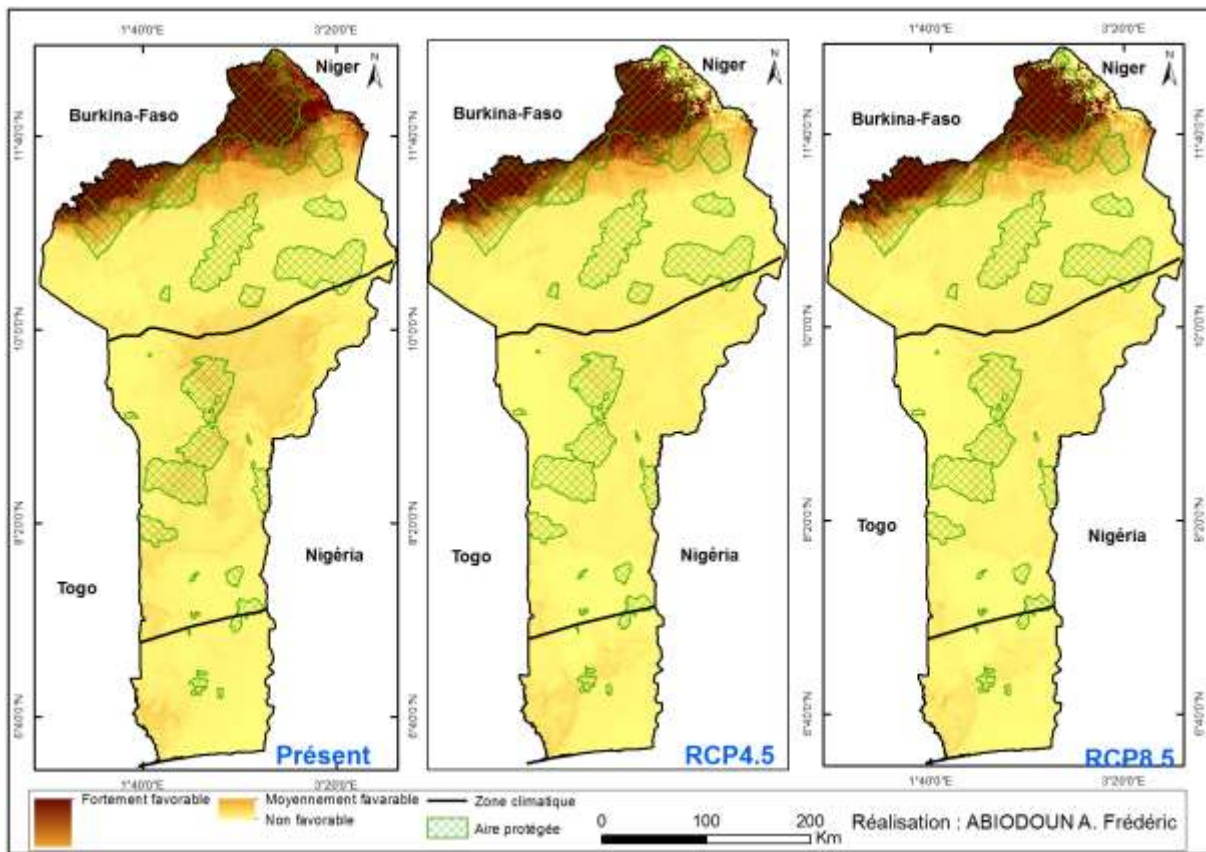


Figure 6 : Carte des habitats favorables au buffle en 2021 et à l’horizon 2055

Il ressort de l’analyse de la figure 6 que les aires favorables à l’espèce sont confinées aux latitudes supérieures à 10°N dans le présent qu’à l’horizon 2055 sous les scénarios rcp 4.5 et rcp 8.5 (notamment, entre 10° 55’ et 12° 20° de latitude nord).

La figure 7 donne la proportion des superficies des zones favorables ou non au buffle au Bénin, présentement et selon les scénarios rcp 4.5 et rcp 8.5.

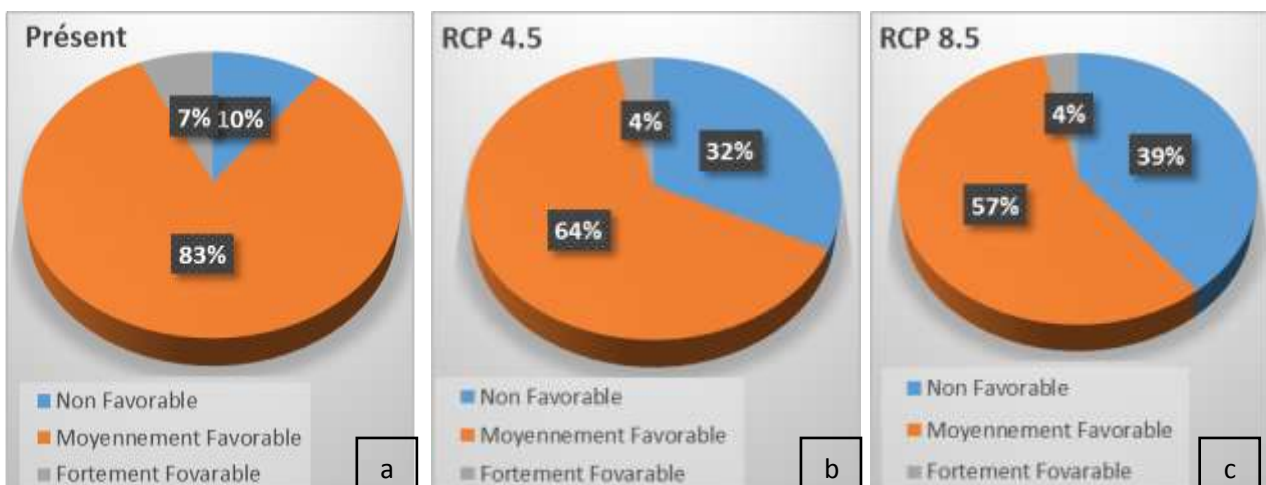


Figure 7 : Proportion des superficies des zones favorables ou non au buffle d’Afrique au Bénin.

L'analyse de la figure 7 montre que les superficies des habitats hautement favorables au buffle passeront de 7% du territoire nationale actuellement, à 4% à l'horizon 2055, soit une régression de 42%, quel que soit le scénario. De même, les habitats moyennement favorables à l'espèce passeront de 83% du territoire nationale à 64% (rcp. 4.5) ou à 57% (rcp 8.5), soit une régression de 22,89%. 32,81% de la surface totale du réseau d'aires protégées au Bénin soit, 8387,8 km<sup>2</sup> sont présentement favorables à l'espèce. A l'horizon 2055, moins d'un pourcent de cette superficie subira une dynamique spatiale, quel que soit le scénario (figure 8). Toutefois, 7,66% des aires moyennement favorables sont projetées pour se convertir en aires peu favorables selon le scénario rcp 4.5, et 18,37% selon le scénario rcp 8.5.

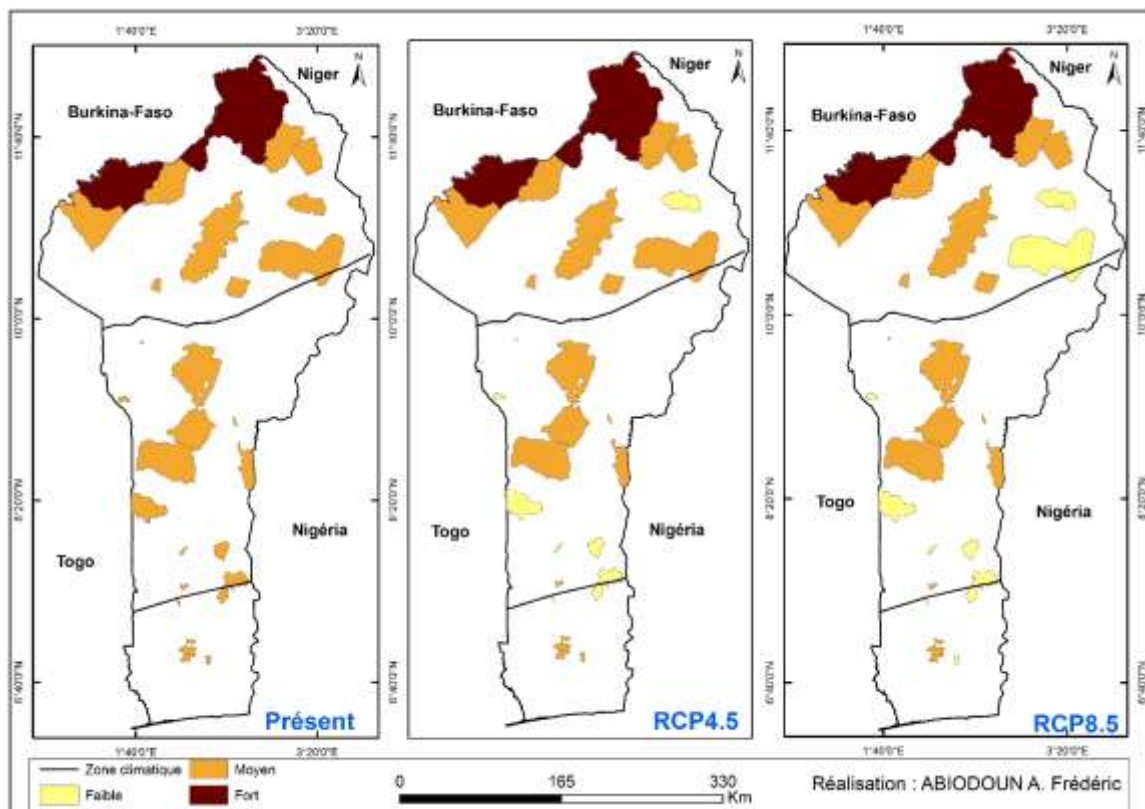


Figure 8 : Aires protégées favorables au buffle au présent et à l'horizon 2055 sous rcp 4.5 et rcp 8.5

### 3. Discussion

La modélisation de distribution des espèces est un outil de biogéographie prédictive susceptible d'améliorer les dispositifs de conservation de la biodiversité. La modélisation est l'une des meilleures méthodes pour estimer la distribution des habitats favorables, non favorables et projeter l'impact des changements climatiques sur une espèce. La modélisation de l'habitat des espèces a connu un essor récent en écologie et en biogéographie. Elle est de plus en plus considérée comme outil pour aider notamment à déterminer les exigences écologiques des espèces à partir de leurs aires de distribution et à prédire les modifications éventuelles dans le temps dans un

contexte de changement climatique (J. ELITH *et al.*, 2006 p. 141). Avec le changement climatique, il peut également servir à rendre climato-intelligentes les actions de conservation (M. W. SCHWARTZ, 2012, p. 149). Dans ce cadre, plusieurs applications de cette approche ont été développées. La modélisation a été utilisée pour prédire la distribution des aires favorables des reptiles et aux papillons (A. EL-GABBAS *et al.*, 2016, p. 211). Elle a également été utilisée pour prédire des changements potentiels d'aires de distribution induits par le réchauffement global, le taux d'extinction des espèces dans le future, l'efficacité des réserves de biodiversité déjà établies à maintenir des habitats favorables aux espèces cibles, l'identification d'aires de conservation prioritaires des espèces et l'évaluation des invasions potentielles (W. THUILLER *et al.*, 2005, p. 2234). La présente étude a modélisé la distribution spatiale des habitats favorables au buffle au Bénin, dans un contexte de changement climatique. Les résultats suggèrent que les principales aires protégées du milieu d'étude, notamment la réserve de biosphère de la Pendjari et la réserve de Biosphère du W du fleuve du Niger sont actuellement très favorables à l'espèce et le resteront à l'horizon 2055. Toutefois, le modèle suggère une régression de plus de 40% des habitats favorables à l'espèce à l'échelle du Bénin à l'horizon 2055 sous les deux scénarios (rcp 4.5 & rcp 8.5). Dans la pratique, ces pertes devraient avoir très peu d'effet sur l'espèce dans la mesure où il s'agit d'espaces essentiellement occupés par des activités anthropiques et qui bien que bioclimatiquement favorables au buffle, sont sujet à des modes d'utilisations incommensurables avec la présence de l'espèce. Ces tendances suggèrent donc *in fine* que les principaux habitats de l'espèce subiraient de faibles dynamiques spatio-temporelles, à l'exception de la partie au-dessus des latitudes 11°40' N. Cependant, 7,66 à 18,37% (selon le scénario), des habitats moyennement favorables au buffle à l'intérieur des réseaux d'aires protégées pourraient potentiellement lui devenir peu favorables. Les pertes d'habitats projetées pourraient être liées à l'augmentation des températures couplée à la chute des précipitations projetées pour ladite zone à l'horizon 2055 (P. J. PLATTS *et al.*, 2015, p. 105). Toutefois, les portions des réseaux d'aires protégées au Bénin potentiellement vulnérables au changement climatique (en dessous des latitudes 11°N) ne représentent plus des habitats majeurs de buffles au Bénin, non pas à cause des changements climatiques mais davantage du fait de leur dégradation par les activités anthropiques. Ces changements potentiels sont donc susceptibles d'avoir très peu d'impact sur les populations locales de buffles. Ces habitats situés entre 6°5'N et 11°4'N sont néanmoins d'anciennes aires de répartition de l'espèce qui l'abritaient encore dans un passé assez récent et qui sont toujours susceptibles d'accueillir des populations de l'espèce si des mesures d'aménagement le permettent (B. SINSIN *et al.*, 1999 p. 261-281).

## Conclusion

La présente recherche est une contribution à la conservation du buffle « *Syncerus caffer* » dans ses habitats, dans un contexte de changement climatique. Elle a permis de modéliser les habitats favorables du buffle au Bénin dans le présent et à l'horizon 2055 au Bénin. Les résultats indiquent une certaine régression des habitats favorables au buffle à l'horizon 2055. Cependant, les principaux habitats de l'espèce (les Réserves de Biosphères de la Pendjari et du W du fleuve du Niger) lui demeureront très favorables à l'horizon 2055. Les conservateurs des aires protégées au Bénin pourraient prendre en compte ces résultats dans la planification de la gestion des populations du buffle dans un contexte de changements climatiques.

## Références bibliographique

ADAM Laura, 2008, Déterminants des déplacements des buffles dans le Parc Régional du W, INRA

ADOMOU Aristide Cossi, 2005, *Vegetation patterns and environmental Gradients in Benin*, PhD Thesis, Wageningen University, The Netherland.

ALLOUCHE Omri, TSOAR Ance et KADMON Rock. 2006, « Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and true skill statistic (TSS) », *Applied Ecology*, 43, p. 1223–1232.

AZANLIN Maurice Sènakpon, 2015, *Ecologie et considérations ethnozoologiques du buffle (syncerus caffer) au sud et au centre du Bénin*, Thèse de Doctorat Unique, Géographie et Gestion de l'Environnement, Université d'Abomey Calavi.

BAILLIE Jonathan, HILTON TAYLOR Craig, Stuart Simon N, 2004, 2004 IUCN Red List of threatened species. A global species assessment. IUCN, Gland, Switzerland.

DGFRN, 2011, *Stratégie et Plan d'Action pour la Biodiversité 2011-2020*, Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles, Cotonou.

EL-GABBAS Ahmed, EL DIN Sherif Baha, ZALAT Samy, 2016, « Conserving Egypt's reptiles under climate change », *Journal of Arid Environments* 127, 211-221

ELITH Jane, GRAHAM Cathérine, ANDERSON Robert, DUDIK Miroslav, FERRIER Simon, GUIBAN Antoine, HIJMANS Robert, HUETTMANN Falk, LEATHWICK John, LEHMANN Anthony, LI Jin, LOHMANN Lucas, LOISELLE Bette, MANION Glenn, MORITZ Craig, NAKAMURA Miguel, NAKAZAWA Yoshinori, OVERTON Jacob, PETERSON Townsend, PHILLIPS Steven, RICHARDSON Karen, SCACHETTI-PEREIRA Ricardo, SCHAPIRE Robert, SOBERON Jorge, WILLIAMS

Stephen, WISZ Mary et ZIMMERMANN Niklaus, 2006, « Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data », *Ecography*, 29, p. 129–151.

FANDOHAN Belarmain, GOUWAKINNOU Gerard, HOUEDOUGBE Noël Fonton, SINSIN Brice et LIU Jian, 2013, « Impact des changements climatiques sur la répartition géographique des aires favorables à la culture et à la conservation des fruitiers sous-utilisés : cas du tamarinier au Bénin », *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 17(3), p. 450-462.

FANDOHAN Belarmain, ODUOR Ayub, SODÉ Idelphonse, WU Liang, CUNISANCHEZ Aida, ASSÉDÉ Emeline et GOUWAKINNOU Gérard, 2015, « Modeling vulnerability of protected areas to invasion by *Chromolaena odorata* under current and future climates », *Ecosystem Health and Sustainability* 1(6), p. 20.

GANGLO Jean Cossi, DJOTAN Geoffroy Kevin, GBETOHO A. Jaures, KAKPO Sundy Berlioz, AOUDJI K. N. Augustin, KOURA Kourouma, TESSI Romaric Yehouenou, 2017, « Ecological niche modeling and strategies for the conservation of *Dialium guineense* Willd. (Black velvet) in West Africa » *International Journal of Biodiversity and Conservation*, Vol. 9(12), p. 373-388

MATAWA Farai, MURWIRA B. Amon , SCHMIDT S. Karin, 2012, « Explaining elephant (*Loxodonta africana*) and buffalo (*Syncerus caffer*) spatial distribution in the Zambezi Valley using maximum entropy modelling » *Ecological Modelling* 242 p. 189–197.

PHILLIPS Steven, ANDERSON Robert et SCHAPIRE Robert 2006, « Maximum entropy modeling of species geographic distributions », *Ecological Modeling*, 190, p. 231-259.

PLATTS Philip John, OMENY Peter, MARCHANT Robert, 2015, « AFRICLIM: high-resolution climate projections for ecological applications in Africa », *African Journal of Ecology* 53, 103–108. doi: 10.1111/aje.12180

DOVONOU-VINAGBE Pricette et CHOUINARD Omer, 2009, « Gestion communautaire des ressources naturelles au Bénin (Afrique de l'Ouest) : le cas de la vallée du Sitatunga » *Études caribéennes*, 12), p.45

NEUENSCHWANDER Peter, SINSIN Brice et GOERGEN Georg (eds), 2011, *Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin*, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

RABEL Thomas, 2003, *Distribution potentielle des grands mammifères dans le Parc du W au Niger*, Université Paris-Diderot, Paris.

SCHWARTZ Michael Warren, 2012, « Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions », *Biological Conservation*, 155, p. 149-156.  
SINSIN Brice Augustin, DAOUDA Ibrahim et AHOKPE Mélanie, 1999, « Abondance et évolution des populations de mammifères des formations boisées de la région des monts Kouffé au Bénin », *Cahiers d'éthologie*, 18(2), p. 261-281.

THUILLER Wilfried, RICHARDSON M David., PYSEK Pete, MIDGLEY Guy. F, HUGHES O. Greg, Rouget Mathieu, 2005, « Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale », *Global Change Biology*, 11(12), p. 2234- 2250.

UICN, 1989, *Directory of afro-tropical protected areas*, Gland.

UICN, 2019, *Syncerus caffer, African Buffalo Assessment by: IUCN SSC Antelope Specialist Group*. UICN, 15.