

Modélisation de la distribution des habitats de quelques bovidés, proies des lions des savanes (*Panthera leo*, Linnaeus 1758) dans la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W, Afrique de l'Ouest

Harissou YAHOU^{1*}, Abdoulaye AMADOU OUMANI², Laouali ABDOU¹ et Ali MAHAMANE^{1,3}

¹ Université de Diffa-Niger, BP 78 Diffa Niger

² Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi-Niger, BP 465 Maradi, Niger

³ Université Abdou Moumouni de Niamey-Niger, BP 10662 Niamey, Niger

* Correspondance, courriel : yharissou2000@yahoo.fr

Résumé

La conservation des carnivores comme le lion (*Panthera leo*, Linnaeus 1758) implique souvent la gestion des ressources trophiques des grands herbivores. Les conséquences à long terme d'une modification de la distribution spatiale et temporelle de ces ressources doivent être cependant envisagées. En effet la gestion durable de carnivores exige la conservation de leurs habitats. Compte tenu des menaces (dégradation des habitats, diminution des proies, braconnage, concurrence avec les hommes) pesant sur les lions des savanes, il a été conduit cette étude dans la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W (RBTW) pour élucider la distribution spatio-temporelle des habitats de deux proies : les buffles (*Syncerus caffer brachyceros* Gray, 1779) et les hippotragues (*Hippotragus equinus koba*, Desmarest, 1804). La méthode a consisté à cartographier les habitats de ces deux proies suivant deux modèles climatiques (le CSIRO et le CCMA) à l'aide de l'outil Maximum Entropy (Maxent), DIVA GIS et QGIS. Les distributions futures (2020 et 2050) ont montré des habitats peu favorables pour le buffle suivant une tendance de +46,35 à +354,50 % et des habitats très favorables pour l'hippotrague avec une tendance +129,39 à +166,31 % par rapport à la distribution actuelle (1950 - 2000). La RBTW peut donc constituer des habitats propices aux hippotragues sur lesquelles les lions doivent porter leur préférence pour assurer leur survie.

Mots-clés : modélisation, buffle des savanes, hippotrague, lion des savanes, distribution, conservation.

Abstract

Modelling the habitat distribution of a few prey of savannah lions (*Panthera leo*, Linnaeus 1758) in the W Transboundary Biosphere Reserve (West Africa)

The conservation of large carnivores such as lion (*Panthera leo*, Linnaeus 1758) often involves management of trophic resources of large herbivores. However, the long-term consequences of change in spatial and temporal distribution of these resources must be considered. Indeed, the sustainable management of carnivores requires the conservation of their habitats. Given threats (habitat loss, reduced prey, poaching, competition with humans) to savannah lions, this study was conducted in W Transboundary Reserve Biosphere (RBTW) to elucidate the spatio-temporal distribution of the habitat of these two prey species,

buffalo (*Syncerus caffer brachyceros* Gray, 1779) and roan antelope (*Hippotragus equinus koba*, Desmarest, 1804). The method consisted of mapping the habitats of its two prey using two climate models (CSIRO and CCMA) with the Maximum Entropy (Maxent), DIVA GIS and QGIS tools. Future distributions (2020 and 2050) showed moderately suitable habitats for buffalo with a trend of +46,35 to +354,50 % and very suitable habitats for roan antelope with a trend of +129.39 to +166.31 % compared to the current distribution (1950 - 2000). The RBTW will therefore be suitable habitat for roan antelope, on which lions must choose to ensure their survival.

Keywords : *habitat modeling, savannah buffalo, roan antelope, savannah lion, distribution, conservation.*

1. Introduction

Les aires protégées demeurent de nos jours les derniers refuges viables des grands mammifères des savanes en Afrique de l'ouest [1, 2]. Cette faune a été obligée suite aux pressions anthropiques de s'adapter à la réduction de son aire de répartition [3]. En plus de ces pressions anthropiques, les sécheresses intercalées des épisodes humides des années 1970 - 1990 ont eu un impact négatif sur la conservation de la biodiversité en Afrique de l'Ouest [4 - 6]. La variabilité climatique est donc un facteur à prendre en compte pour la conservation de la biodiversité en général et de la distribution animale en particulier. Cette dernière est fonction de la production primaire disponible et des stratégies alimentaires de la faune selon qu'ils soient pousseurs, brouteurs ou mixtes [7] et des ressources en eau. Au sommet de la chaîne alimentaire, les grands carnivores en général et les lions des savanes (*Panthera leo*, Linnaeus 1758) en particulier font face depuis quelques années à une régression de leurs effectifs et à la fragmentation de leurs populations [8]. Les lions des savanes sont classés vulnérables au niveau mondial et en danger critique pour la région Afrique de l'Ouest et du Centre selon les critères de l'IUCN [9, 10]. Une récente estimation en 2013 fait cas de 400 individus [11, 12] contre 850 individus en 2003 [8] en Afrique de l'Ouest. Les lions sont répartis irrégulièrement dans certaines aires protégées du Bénin, Burkina, Niger, Nigéria et Sénégal et ont été identifiés comme une sous espèce à part entière [12]. Ils font partie des espèces phares d'Afrique du fait de leur importance pour la recherche, le tourisme de vision et la chasse sportive. Ils constituent également un bon indicateur des milieux sauvages qui permet la rentrée des devises générées par le tourisme pour les pays en voies de développement [13].

Si le risque d'extinction est lié d'une part à l'amenuisement des aires de répartition et aux conflits hommes-faune, il peut aussi être exacerbé par l'indisponibilité des proies [13]. La prédation du bétail entraîne des empoisonnements et souvent l'élimination totale du groupe familial par les éleveurs qui utilisent illégalement les aires protégées [8]. Deux espèces de bovidés : le buffle (*Syncerus caffer brachyceros* Gray, 1779) et l'hippotrague (*Hippotragus equinus koba*, Desmarest, 1804) constituent les potentiels proies [14, 15] de la sous espèce des lions de savanes de la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W [16]. Il est établi une corrélation entre la densité des lions et de ses proies [17]. De même le déplacement du lion semble être guidé par la disponibilité des proies liée elle-même aux variables écologiques et environnementales [18]. Il sera indispensable d'établir la distribution actuelle et future des habitats des buffles et des hippotragues dans un contexte de variabilité climatique pour aider à la conservation des proies naturelles des lions. Selon [4], prédire comment les espèces pourraient réagir aux changements climatiques permettra de développer des stratégies de conservation durable. La modélisation peut mettre en évidence les habitats favorables actuels et futurs de deux proies des lions des savanes et les variables environnementales qui affectent leur répartition [19]. L'objectif de cette étude est d'établir les cartes des habitats favorables, actuelles et futures de deux potentielles proies des lions des savanes en vue de leur conservation.

2. Matériel et méthodes

La modélisation basée sur le principe d'Entropie Maximale (Maxent), un outil puissant d'aide à la décision pour la conservation de la biodiversité a été utilisée au cours de cette recherche.

2-1. Zone d'étude

La Réserve de Biosphère Transfrontalière couvre les trois parcs nationaux du Bénin, du Burkina et du Niger et les aires protégées qui leur sont adjacentes. Elle couvre plus de 10 300 km² et fait partie du Complexe W-Arly-Pendjari (**Figure 1**). Elle s'étend entre 11° et 12°35 de latitude Nord et 2° et 3°50 de longitude Est, en Afrique occidentale [20]. Le noyau central de la RBTW constitue la zone qui a été soumise aux modèles. Le climat est de type continental caractéristique de la zone des savanes boisées soudanaises. L'humidité relative de l'air est maximale d'avril à novembre et minimale de mai à octobre. La RBTW est couverte par des savanes (arborées, boisées et herbeuses) et des forêts galeries. Elle se trouve dans le bassin du fleuve Niger et de ses affluents (Goroubi, Diamangou, Tapoa, Mékrou, Alibori). Les sols rencontrés sont les lithosols de roches diverses et cuirasses ; les sols argileux bruns, à nodules calcaires ; les sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériaux sableux et sablo-argileux à concrétion sur grès du Continental Terminal ; les sols indurés sur matériau kaolinique issu de sédiment sablo-argileux ; les sols hydromorphes ; les sols peu évolués, lithiques et les sols sur quartzites et micaschistes [21]. Pour le besoin de ce travail, il a été annexé certaines zones périphériques de la RBTW notamment une partie de la Réserve de Tamou au Niger et une zone cynégétique villageoise au Burkina.

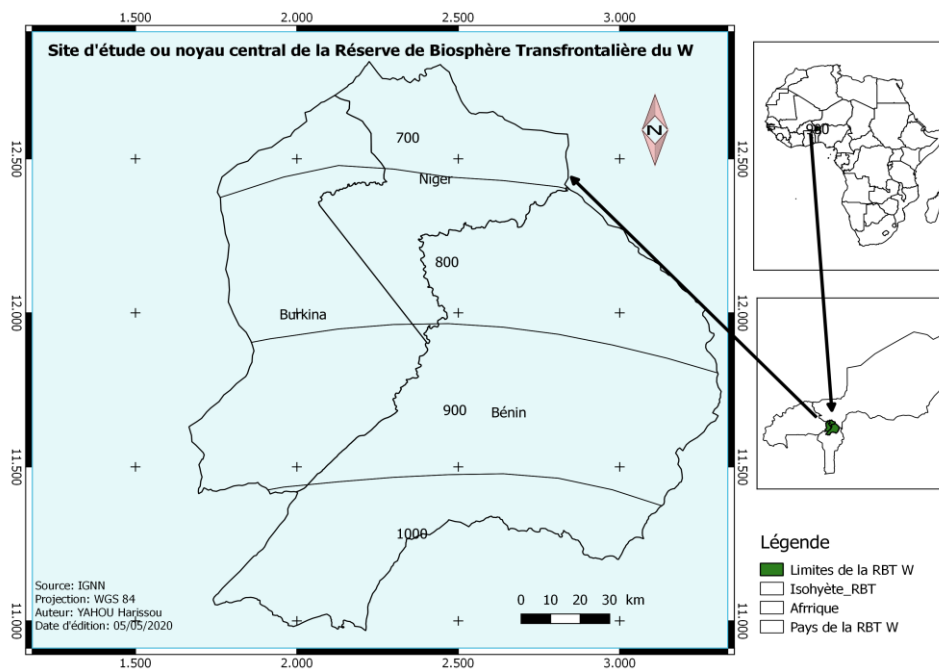


Figure 1 : Carte de localisation du noyau central de la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W.

2-2. Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué du buffle (*Syncerus caffer*) et l'hippopotame (*Hippopotamus equinus*) qui sont deux espèces de la famille des bovidés. Ils sont rencontrés dans les savanes africaines et constituent les proies des lions des savanes.

2-3. Collecte des données

2-3-1. Positions géographiques (occurrences)

Deux types de données ont été utilisées ; celles collectées dans le Parc W Niger à partir des inventaires à véhicule 4×4 suivant la méthode de [22] et les données issues des inventaires pédestres menées dans les aires protégées du Complexe W au Bénin, Burkina Faso et Niger issues du GBIF (Global Biodiversity Facility Information). Ces données ont été fournies au GBIF par les états Béninois, Burkinabé et Nigérien.

2-3-2. Données climatiques

Elles sont obtenues de la base des données worldclim. Cette base a une haute résolution spatiale pour le climat global et les données climatiques. Elle est utilisée pour la modélisation spatiale dans le domaine de la recherche et de certaines activités [23]. Les données sont extraites des fichiers à extension .clm constituées de 19 variables bioclimatiques ou environnementales à base essentiellement des températures et précipitations (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Variables bioclimatiques ou environnementales utilisées pour la modélisation

Code	Signification
BIO1	Température moyenne annuelle
BIO2	Ecart diurne moyen (température maximale - température minimale ; moyenne mensuelle)
BIO3	Isothermalité (BIO2/BIO7) *100
BIO4	Saisonnalité de la température (Coefficient de variation)
BIO5	Température maximale de la période la plus chaude
BIO6	Température minimale de la période la plus froide
BIO7	Ecart annuel de température (BIO5-BIO6)
BIO8	Température moyenne du trimestre le plus humide
BIO9	Température moyenne du trimestre le plus sec
BIO10	Température moyenne du trimestre le plus chaud
BIO11	Température moyenne du trimestre le plus froid
BIO12	Précipitations annuelles
BIO13	Précipitations de la période la plus humide
BIO14	Précipitations de la période la plus sèche
BIO15	Saisonnalité des précipitations (Coefficient de variation)
BIO16	Précipitations du trimestre le plus humide
BIO17	Précipitations du trimestre le plus sec
BIO18	Précipitations du trimestre le plus chaud
BIO19	Précipitations du trimestre le plus froid

Les données actuelles couvrent la période actuelle (1950 - 2000) avec une résolution spatiale de 2.5 mn (soit 5 km x 5 km = 25 km²) <https://www.worldclim.org>. Les données futures couvrent quant à elles la période de 2000 à 2050.

2-4. Analyse des données

Les 19 variables bioclimatiques ou environnementales sont chargées sur DIVA GIS 7-5 pour générer les variables climatiques ascii qui sont des rasters pouvant être pris en charge [19] par le logiciel de modélisation d'Entropie Maximale (MAXENT 3.3.3k). Ces variables sont extraites dans la limite de la couche shapefile de la zone à modéliser. Elles ont subi une série de transformations qui les ont faits évoluer des fichiers à extension .clm aux fichiers GRI et GRD. Un test de corrélation de Pearson est effectué pour sélectionner les variables les plus pertinentes pour le modèle. Ainsi les variables avec un coefficient de corrélation élevé ($|r| > 0.7$) et à importance écologique pour les espèces étudiées [24] ont été identifiées. Seules les variables les moins corrélées sont chargés sur MAXENT pour générer le fichier raster des distributions des espèces. Les deux modèles climatiques ont été exécutés avec les cinq variables bioclimatiques ou environnementales retenues pour la distribution actuelle qui correspond à la période 1950 à 2000. Aussi, il a été gardé le même système de classification avec les classes « *Très favorable* », « *Favorable* », « *Moyennement favorable* » et « *Peu favorable* ». Pour déterminer les variables qui contribuent le plus à la modélisation, le test de Jackknife a été effectué [25, 26]. Trois répétitions ont été faites pour produire des estimations robustes. La statistique AUC ou Area Under Curve évalue la performance du modèle. Un modèle est dit excellent lorsque la valeur de l'AUC est supérieure à 0,90 ; il est bon lorsque $0,90 > AUC > 0,80$; acceptable lorsque $0,80 > AUC > 0,70$, mauvais lorsque $0,70 > AUC > 0,60$ et invalide $0,60 > AUC > 0,50$ [19]. Les modèles utilisés sont (1) le CSIRO Mk3.5 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) qui envisage un léger réchauffement de $0,2^{\circ}\text{C}$ de la surface des mers sur une période s'étalant sur 1300 ans et une diminution des précipitations et (2) le modèle CCMA (Canadian Centre for Climate Modelling And Analysis) qui envisage une augmentation des précipitations.

3. Résultats

3-1. Distributions actuelles ou potentielles des buffles et d'hippotragues

Cinq (05) variables environnementales ont été retenues après le test de corrélation parmi les 19 disponibles pour le modèle Maxent (**Figure 2**), il s'agit des variables Bio 9 (Température moyenne du trimestre le plus sec), Bio3 (Isothermalité) suivi de Bio19 (précipitations du trimestre le plus froid), Bio 11 (température moyenne du trimestre le plus froid), Bio1 (température moyenne annuelle) et Bio7 (écart annuel de température). Des tests de Jackknife ont été exécutés sur les variables climatiques pour déterminer les grands contributeurs au modèle de prédiction. L'AUC ou Area Under Curve pour les deux espèces (buffle et hippotrague) qui permet d'apprécier le modèle est comprise entre 0,70 et 0,80, le modèle est par conséquent acceptable.

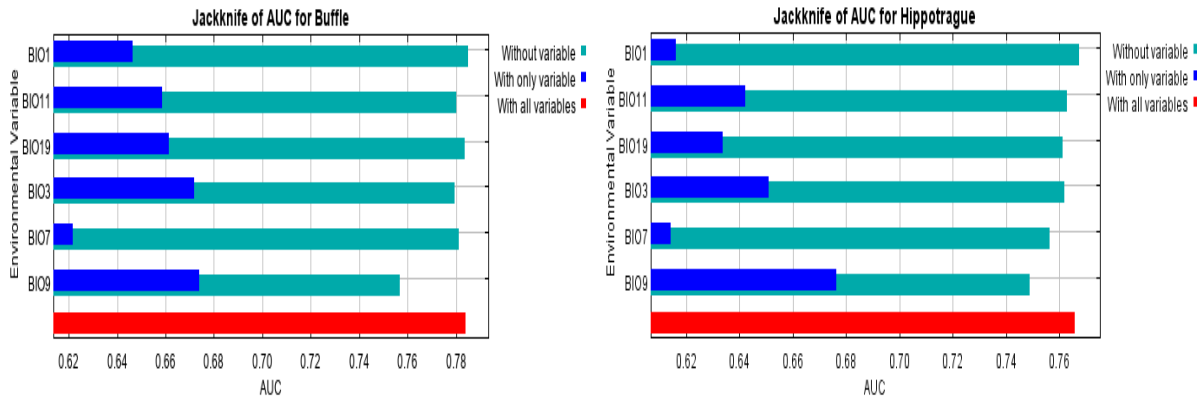


Figure 2 : Test de Jackknife pour le buffle (gauche) et l'hippotrague (droite)

Le fichier raster issue du modèle Maxent est ensuite traité dans le logiciel QGIS 2.18. C'est une image compatible avec QGIS mais qui nécessite une classification supervisée. Il a été élaboré après la classification des cartes actuelles (1950 à 2000) des habitats favorables aux buffles et aux hippotragues (Figure 3).

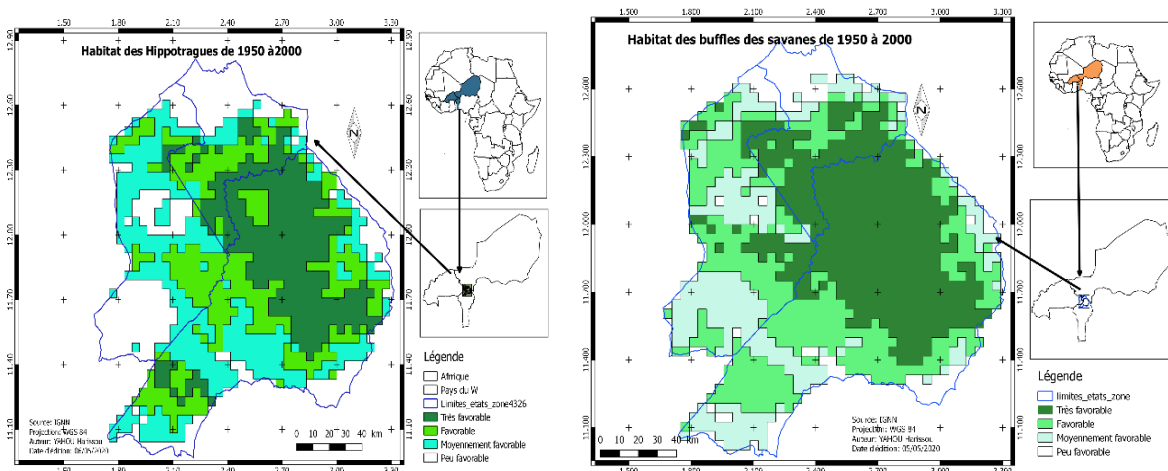


Figure 3 : Habitats des hippotragues et des buffles des savanes de 1950 à 2000

Les buffles des savanes occupent entre 1950 et 2000 des habitats très favorables relativement plus grands que ceux des hippotragues dont les habitats moyennement et peu favorables sont plus importants en termes de superficies. Les classes retenues pour apprécier la distribution des bovidés sont les classes *très favorable, favorable, moyennement favorable* et *Peu favorable*.

3-2. Distributions futures des buffles et d'hippotragues

3-2-1. Modèle climatique CCMA

Le modèle climatique CCMA appliqué aux espèces de buffle et d'hippotrague a permis de déterminer leurs habitats pour l'horizon 2020 (Figure 4) et 2050 (Figure 5). Il a été caractérisé par des valeurs d'AUC supérieures à 0,90 prouvant ainsi l'excellence du modèle pour ces espèces.

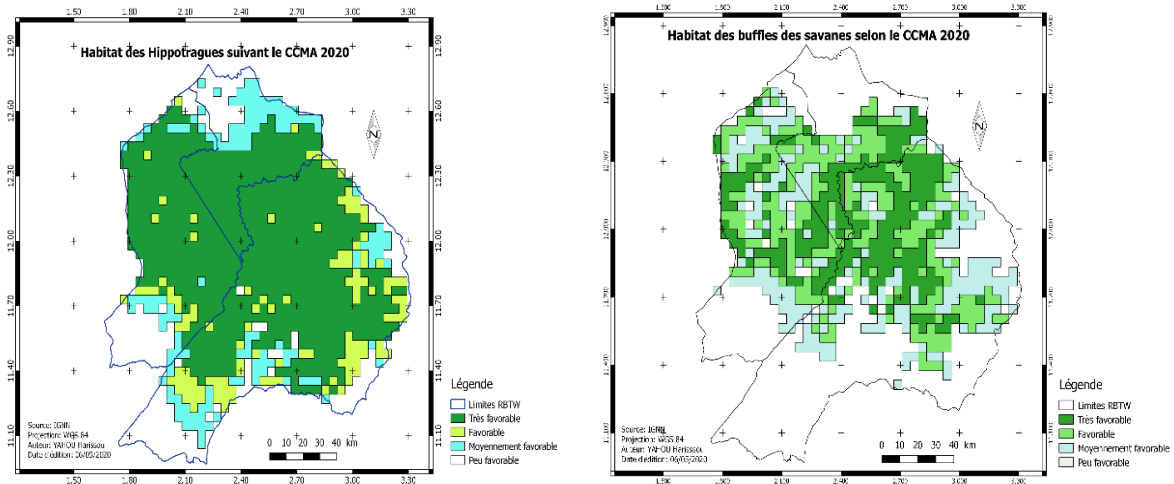


Figure 4 : Habitats des hippotragues et des buffles des savanes suivant le modèle CCMA horizon 2020

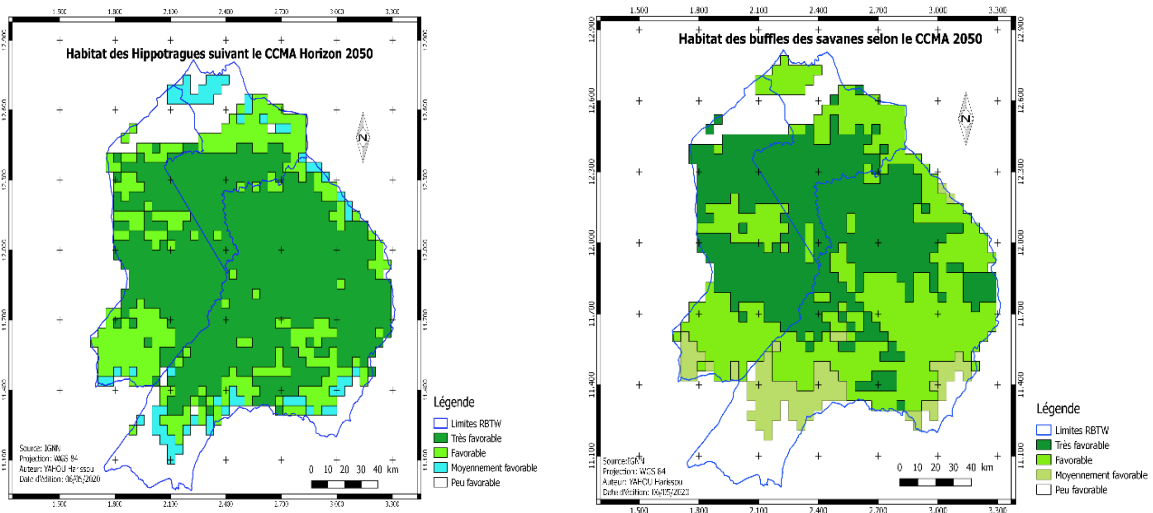


Figure 5 : Habitats des hippotragues et des buffles des savanes suivant le modèle CCMA horizon 2050

L'analyse des **Figures** montre une réduction et une fragmentation des superficies favorables aux buffles des savanes en 2020. Dans la même période l'habitat semble être très favorable pour les hippotragues avec des superficies peu favorables très réduites. L'horizon 2050 montre selon les deux modèles des habitats très favorables pour les deux espèces avec des espaces peu favorables relativement réduits.

3-2-2. Modèle climatique CSIRO

Comme le modèle climatique CCMA, le modèle CSIRO est également excellent. La performance du modèle est due aux valeurs des AUC enregistrées et qui sont supérieures à 0.90 pour toutes les deux espèces pour les horizons 2020 (**Figure 6**) et 2050 (**Figure 7**).

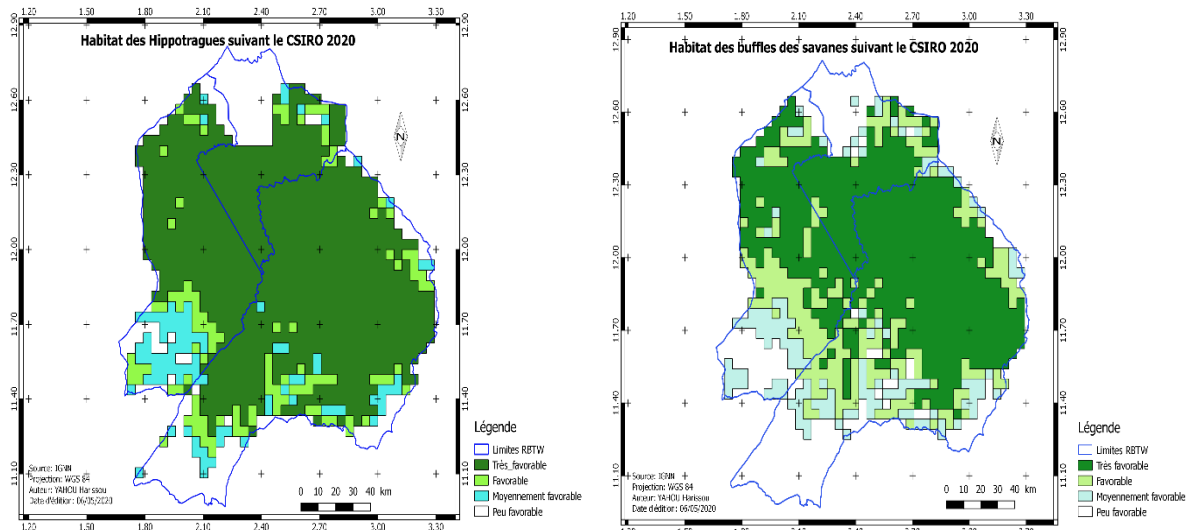


Figure 6 : Habitats des hippotragues et des buffles des savanes suivant le modèle CSIRO horizon 2020

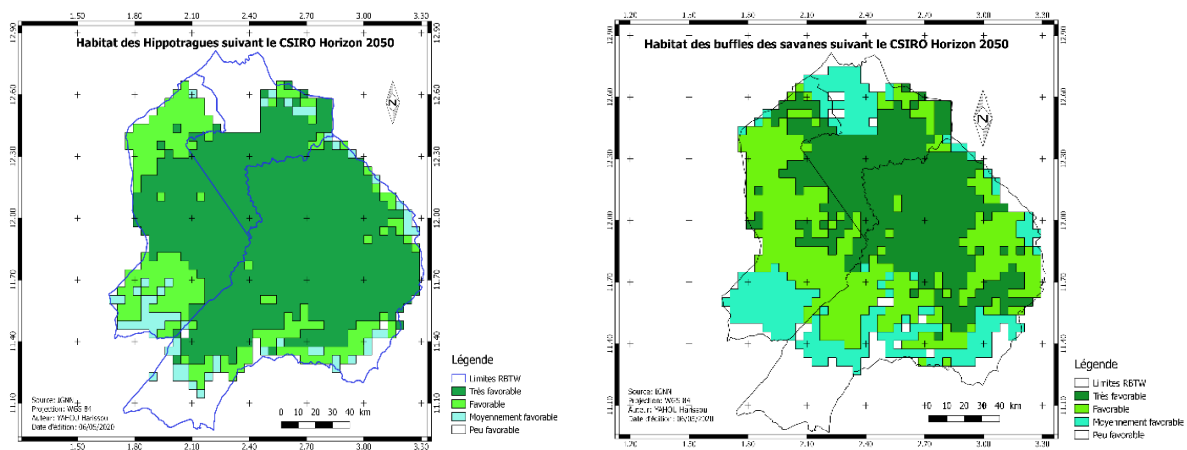


Figure 7 : Habitats des hippotragues et des buffles des savanes suivant le modèle CSIRO horizon 2050

L'analyse des **Figures** issues de ce modèle montre globalement pour tous les deux horizons (2020 et 2050) des habitats très favorables cependant plus importants pour les hippotragues. Les superficies des habitats peu favorables sont aussi réduites dans l'ensemble de la Réserve de Biosphère avec le modèle CSIRO.

3-3. Impacts des changements climatiques sur les habitats des deux proies du lion

L'ensemble des habitats actuels et futurs issus des prédictions des modèles CCCMA et CSIRO ont connus des fortes fluctuations à l'intérieur des mêmes modèles et entre les périodes utilisées. L'habitat des hippotragues semble être plus résilient aux changements climatiques avec l'accroissement des superficies des classes très favorables. Les superficies les plus favorables aux buffles s'amenuisent pour laisser la place à des habitats moyennement et peu favorables. Pour les hippotragues, les effets semblent être contraires à ceux des buffles, les modèles démontrent un accroissement des superficies très favorables au détriment des superficies favorables et moyennement favorables (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Dynamique des habitats de deux espèces de bovidés

Habitats	Très favorable		Favorable		Moyennement Favorable		Peu favorable	
	<i>Superf</i> (Km ²)	Tendance (%)	<i>Superf</i> (Km ²)	Tendance (%)	<i>Superf</i> (Km ²)	Tendance (%)	<i>Superf</i> (Km ²)	Tendance (%)
Buffle								
Actuelle	4137,36		3587,66		2351,24		1005,74	
CCMA2020	2219,49	-48,59	2371,51	-33,90	2097,87	-10,78	4573,13	+354,50
CSIRO2020	5594,33	+29,58	2108,01	-41,24	1297,23	-44,83	2262,43	+124,95
CCMA2050	4499,79	+4,23	4418,71	+23,16	871,58	-62,93	1471,93	+46,35
CSIRO2050	3962,65	-8,22	3618,07	+0,85	2178,95	-7,33	1502,33	+49,38
Hippotrague								
Actuelle	2827,56		2847,83		3141,74		2444,86	
CCMA2020	6800,35	+140,50	1246,56	-56,23	1398,58	-55,48	1816,50	-25,70
CSIRO2020	6486,18	+129,39	2685,68	-61,57	658,75	-79,03	1431,39	-41,45
CCMA2050	7530,05	+166,31	1094,54	-5,69	1358,04	-56,77	1279,37	-47,67
CSIRO2050	6992,91	+147,31	2128,28	-25,27	628,35	-80,00	1512,46	-38,14

Superf : superficie

4. Discussion

La conservation des espèces menacées est un grand défi en ce troisième millénaire marqué par une forte croissance démographique des populations riveraines des aires protégées. Les milieux jadis sauvages n'autorisaient pas de vie humaine. Ils étaient en effet inhospitaliers avec les maladies tropicales (onchocercose, maladie de sommeil etc), et servent parfois également des aires de parcours [3] accueillant la faune, le bétail domestique et les éleveurs. En outre, l'émission des gaz à effet de serre consécutif au développement industriel à partir du 19^e siècle contribue fortement au réchauffement global qui engendre de plus en plus certains dérèglements climatiques. Pour anticiper les chocs éventuels qui peuvent se produire sur la biodiversité, des modèles climatiques sur plusieurs années sont utilisés. La situation critique des lions des savanes d'Afrique de l'Ouest considérée localement comme en danger, a mérité l'attention portée sur l'avenir des habitats de ses deux principales proies dans la Réserve Transfrontalière de Biosphère du W. Les variables bioclimatiques Bio 9 ou la Température moyenne du trimestre le plus sec et la Bio3 ou l'isothermalité ont le plus contribué à la prédiction de deux modèles. La distribution actuelle c'est-à-dire de 1950 à 2000 montre des habitats favorables pour les sous espèces de buffles et d'hippotragues. Les buffles semblent avoir plus de superficies favorables. Mais en termes d'effectif, [27, 28] ont montré que les hippotragues sont les mammifères les plus fréquemment observés dans cette aire protégée. De plus un inventaire pedestre antérieur [29] a mis en évidence l'importance de trois ongulés dont l'hippotrague. La distribution actuelle montre que les habitats de ces deux bovidés se chevauchent sans doute du fait de la similarité de leurs exigences écologiques. Cependant, la dégradation des habitats peu favorables aux buffles (+46,35 à +354,50 %) et l'amélioration des habitats très favorables aux hippotragues (+129,39 à +166,31 %) pour les distributions futures est un facteur à prendre en compte dans la gestion de la RBTW. Aussi, un bon habitat ne suppose pas obligatoirement une disponibilité en proie. En effet [30] a démontré que les ongulés sauvages sont plus sensibles à la présence humaine indirecte (divagation des animaux domestiques) que la présence humaine directe (le braconnage et la cueillette) dans

le complexe écologique du WAP dont fait partie la RBTW. Il existe une compétition entre la faune sauvage et le bétail qui demeure toujours en défaveur des premiers. Cet état de fait est matérialisé dans la partie béninoise de la Réserve où l'ensemble des modèles utilisés ont montré des habitats majoritairement favorables alors que les différents inventaires aériens de 2003, 2015 et 2019 [31, 32, 27] ont toujours rapporté une présence significative de bétail avec cependant une tendance à la baisse des chiffres aux cours des années. Cette partie de la Réserve n'a commencé à être véritablement surveillé qu'avec l'avènement du Programme ECOPAS (Ecosystèmes Protégés en Afrique Soudano-Sahélienne) dans les années 2000 [3]. Du reste selon [4, 33], le changement d'occupation du sol en lien avec la croissance démographique pourrait être la première cause de diminution et d'extinction des espèces, il est constaté de plus en plus à la périphérie des aires protégées de la Réserve la conversion de certaines unités d'occupation des sols. Ce changement s'effectue le plus souvent dans un sens négatif [34] empiétant sur les aires de parcours qui n'arrivent plus à supporter les charges animales. D'où le déferlement du bétail dans les aires protégées qui souvent faute de moyens adéquats des unités de gestion n'arrivent plus à être surveillé efficacement. Cela peut expliquer les faibles densités des carnivores en général et du lion en particulier avec un indice de détection de 17 % des parties échantillonnées de la RBTW [35]. La présence du lion est surtout guidée selon [18] par l'abondance et la disponibilité de ses proies entre autres facteurs. Il entre de ce fait en compétition indirecte avec le bétail domestique puisque les ongulés sauvages sont repoussés par le bétail : un conflit homme-carnivore intervient au cours duquel les lions sont empoisonnés ou piégés par les éleveurs. Toute stratégie de conservation de ces lions doit passer par une surveillance efficace. Elle permettra une reprise rapide de la reproduction de la faune. A l'échelle du globe terrestre, il est prévu un réchauffement qui peut être en faveur de la faune de la RBTW. Il y'a cependant une disparité selon [7] car l'impact des variations du climat sur la production végétale joue plus en défaveur des pousseurs (le buffle) que des brouteurs (l'hippopotame). L'hippopotame serait alors la proie d'avenir des lions des savanes dans la RBTW.

5. Conclusion

Les deux modèles climatiques utilisés au cours de la présente étude ont montré selon qu'il y'ait augmentation ou diminution des précipitations, des superficies de plus en plus importantes des habitats favorables aux proies des lions des savanes qui seront enregistrées. C'est le lieu de retenir que ce sont les températures qui détermineront les meilleurs habitats. Au regard du réchauffement attendu du fait de la pollution industrielle, les habitats des hippopotames et des buffles seront dynamiques. Une bonne surveillance et des aménagements des points d'eau permettront en outre une croissance des populations des proies. Du fait de la corrélation entre les proies et la densité des lions, il en résultera alors un accroissement des effectifs de ces derniers pour une meilleure conservation.

Remerciements

Nous tenons ici à exprimer notre gratitude au personnel (Agents des Eaux et Forêts, Ecogardes et Bénévoles) de l'unité de gestion de la RBT W Niger en général et le service du suivi écologique en particulier pour leur contribution pendant la collecte des données.

Références

- [1] - A. IPAVEC, Caractéristiques et déterminants de la distribution spatio temporelle de la population d'éléphants du parc Régional W, Afrique de l'ouest. Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomiques de Rennes. (2006) 188 p.
- [2] - F. HIBERT, Déterminants écologiques et anthropiques de la structuration des peuplements d'ongulés sauvages en Afrique de l'Ouest : cas du Parc Régional du W du fleuve Niger. Thèse pour l'obtention des grades de docteur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes et de l'Université Abdou Moumouni. (2007) 370 p.
- [3] - S. MANCERON, Intervenir en périphérie pour la conservation des aires protégées : ré examen d'un postulat la situation du Parc W et des éleveurs mobiles. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris Ouest, Université Abdou Moumouni. (2011) 586 p.
- [4] - M. A BOUCHARD, G D. GOUDOU, Inventaire des connaissances sur la résilience climatique au Niger. Programme Pilote pour la Résilience Climatique - Rapport final (2009) 68 p.
- [5] - G. MOREL, M. Y MOREL, Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional Sénégal. Influence de la sécheresse de l'année 1972-1973. *La terre et la vie*, Vol. 28, N°1, (1974) 95 - 123
- [6] - A R. POULET, Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional Sénégal. Quelques effets de la sécheresse sur le peuplement mammalien. *La terre et la vie*, Vol. 28, N°1, (1974) 124 - 130
- [7] - G. GALAT, A. GALAT-LUONG, G. NIZINSKI, Impact du changement climatique sur les variations des populations de grands vertébrés à leur extrême limite de répartition est-il fonction de leurs régimes alimentaires ? *Geographia Technica*. Numéro spécial, (2009) 205 - 209
- [8] - H. BAUER, Lion conservation in West and central Africa. Integrating social and Natural science for wildlife conflict resolution around Waza National Park, Cameroon. Dissertation defended at Leiden University. (2003) 160 p
- [9] - H. BAUER, PACKER, C. P. F. FUNSTON, P. HENSCHER & K. NOWELL, *Panthera leo* (errata version published in 2017). The IUCN Red List of Threatened Species 2016. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T15951A107265605>. (2016)
- [10] - H. BAUER, N. KRISTIN, Endangered Classification for West African Lions. www.redlist.org. (2004) 2 p.
- [11] - J. RIGGIO, A. JACOBSON, L. DOLLAR, H. BAUER, M. BECKER, A. DICKMAN, P. FUNSTON, R. GROOM, P. HENSCHER, The size of savannah Africa : a lion's (*Panthera leo*) view. *Biodivers Conserv*, Vol. 22, N°1, (2013) 17 - 35
- [12] - P. HENSCHER, L. COAD, C. BURTON, B. CHATAIGNER, A. DUNN, The Lion in West Africa Is Critically Endangered. *PLOS ONE* Vol 9, N° 1 (2014) 1 - 11
- [13] - IUCN, Conservation strategy for the lion in West and Central Africa. IUCN SSC Cat specialist Group. (2006) 45 p
- [14] - A. BOY, Les buffles du pays Gourma. *Bois et forêts des tropiques* Vol 58, (1958) 1 - 13
- [15] - O. T. AREMU, Density, distribution and feeding strategies of Roan antelope (*Hippotragus equinus*) in Borgu sector of Kainji Lake National Parks. *Ghana journal of Science*, Vol 44, N°1 (2004) 39 - 45
- [16] - E. A. SOGBOHOSSOU, Ecology of lion (*Panthera leo Linnaeus* 1775) populations and human-lion conflicts in Pendjari Biosphere Reserve, North Benin. (2011) 146 p.
- [17] - CENAGREF, Plan d'actions pour la conservation du lion au Bénin. (2014) 31 p.
- [18] - K. L. MILLS, H. YAHOU, I. T. GNOUMOU, I. A YAYE, B. DOAMBA, and N. C. HARRIS, Comparable spa hunting concessions and national parks in West Africa. *J Appl Ecol*, Vol 57, N°5 (2020) 1 - 10
- [19] - S. J. PHILLIPS, P. R. ANDERSON, & R. E. SCHAPIRE, Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model*. Vol 190, N°3 (2006) 231 - 259

- [20] - PAG RBW Niger, Plan d'aménagement et de gestion de la Réserve de Biosphère du W Niger. Version provisoire (2017) 107 p.
- [21] - PAPE, Plan d'Aménagement et de Gestion de la Réserve de Biosphère Transfrontalière. Programme d'Appui aux Parcs de l'Entente. (2016) 185 p.
- [22] - M. NORTON-GRIFFITHS, Counting animals. A series of handbooks on Techniques in African Wildlife Ecology. Edition Grimsdell Serengeti Ecological Monitoring Programme (1978) 134 p.
- [23] - R. J. HIJMANS, S. E CAMERON, J. L PARRA, P. G JONES, A. JARVIS, Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* Vol 25, N°15 (2005) 1965 - 1978
- [24] - C. F. DORMANN, J. ELITH, S. BACHER, C. BUCHMANN, G. CARL, G. CARRÉ, et S. LAUTENBACH, Collinearity : a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, Vol 36, N°1 (2013) 27 - 46
- [25] - B. FANDOHAN, G. N. GOUWAKINNOU, N. H. FONTON, B. SINSIN, et J. LIU, 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. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, Vol 17, N°3, (2013) 450 - 462
- [26] - L. ABDOU, A. DIOUF, M. M. INOUSSA, B. M. MAMOUDOU, A. I. SALAMATOU et A. MAHAMANE, Modeling the Geographic Distribution of *Prosopis africana* (G. and Perr.) Taub. in Niger. *Environment and Natural Resources Research*, Vol 6, N°2 (2016) 136 - 144
- [27] - M. ANTONINOVA, A. GAYLARD, G. GIBBONS, CH. MOUEIX, J. CHEVILLOT et J. M. FROMENT, Aerial Survey of W-Arly-Pendjari Complex, Benin - Burkina Faso - Niger, *African Parks*, (2019) 64 p.
- [28] - H. YAHOU, A. A. OUMANI, E. HEMA et A. MAHAMANE, Abondance et distribution des mammifères de la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W Niger (RBT W Niger). *J. Anim. Plant* Vol 43 N°3 (2020) 7513 - 7524
- [29] - Rapport inventaire pédestre. Inventaire pédestre de la grande faune mammalienne du Parc National du W Niger. (2015) 12 p.
- [30] - HARRIS NC, MILLS KL, HARISSOU Y, E. M. HEMA, I. T. GNOUMOU, J. VANZOEREN, A-N I. YAYE, et B. DOAMBA, First camera survey in Burkina Faso and Niger reveals human pressures on mammal communities within the largest protected area complex in West Africa. *Conservation Letters*. Vol 12, N°5 (2019) 1 - 8. <https://doi.org/10.1111/conl.12667>
- [31] - PH BOUCHE, C. G. LUNGREN, B. HIEN et P. OMONDI, Recensement aérien total de l'Ecosystème W Arly-Pendjari-Oti-Mandouri-Kéran (WAPOK). CITES-MIKE, ECOPAS, PAUCOF, Benin, Burkina Faso, Niger, Togo. (2004) 114 p
- [32] - PH BOUCHÉ, H. FREDERICK, E. KOHI, Inventaire aérien de l'écosystème W Arly Pendjari. Rapport définitif. (2015) 64 p.
- [33] - D. P. MALLON, M. HOFFMANN, M. J. GRAINGER, F. HIBERT, N. WAN VLIET et P. J. K. MCGOWAN, Analyse de situation de l'UICN concernant la faune terrestre et d'eau douce en Afrique centrale et de l'Ouest. Document occasionnel de la Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN n° 54. Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. (2015) 162 p.
- [34] - M. BARAGE, A. GARBA, B. MOUSSA, J. COMBY et J. M. K. AMBOUTA, Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Ouest du Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol 12, N°4 (2018) 1667 - 1687
- [35] - ADDBIO, Projet de suivi des lions dans les Parcs nationaux d'Arly, du W Bénin, W Burkina et du W Niger. Rapport provisoire. (2018) 20 p.