

Impact des changements climatiques sur la distribution de deux espèces ligneuses fourragères (*Khaya senegalensis* et *Azelia africana*) dans le bassin versant de la Sota, Bénin

Soufouyane ZAKARI^{1,3*}, Ousséni AROUNA², Ismaïla TOKO IMOROU¹,
Ibouraïma YABI³ et Brice Agossou Hugues TENTE⁴

¹ Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Cartographie, (LaCarto), 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin

² Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route, 03 BP 304 Abomey, Bénin

³ Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire Pierre PAGNEY "Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement" (LACEEDE), BP 922, Abomey-calavi, Bénin

⁴ Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE), BP 677, Abomey-Calavi, Bénin

* Correspondance, courriel : soufouyanez@yahoo.fr

Résumé

La présente recherche a pour objectif d'évaluer l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition spatiale des habitats de *Azelia africana* et *Khaya senegalensis* qui sont deux espèces ligneuses fourragères soumises à de fortes pressions anthropiques dans le bassin versant de la Sota (BVS). Le modèle MaxEnt (maximum entropy) a servi à la modélisation des habitats de ces espèces fourragères en utilisant leurs points de présence et des variables bioclimatiques. Pour les projections climatiques futures, trois modèles de circulation générale (*Global Circulation Models* : GCMs) parmi les plus recommandés ont été utilisés. Il s'agit des modèles CCCMA (*Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis*), HadCM3 (*Hadley Centre for Coupled Model version 3*) et CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*). Pour tous ces modèles, les projections faites pour 2050 ont été utilisées sous le scénario d'émission A2. Les résultats de la modélisation montrent que la précipitation annuelle est le paramètre bioclimatique qui a le plus contribué à la prédiction de la distribution des habitats des espèces étudiées. Ces résultats suggèrent que les changements climatiques impacteront différemment la distribution des habitats de ces espèces dans les aires protégées et dans les terroirs villageois. L'impact des changements climatiques sur les habitats favorables à ces espèces sera moins important du point de vue de la variation de leurs superficies que celui de leur répartition spatiale dans le bassin versant de la Sota.

Mots-clés : *changements climatiques, espèces fourragères, modélisation, bassin versant de la Sota, Bénin.*

Abstract

Impact of climate change on the distribution of two tree fodder species (*Khaya senegalensis* and *Azelia africana*) in the Sota catchment area, Benin

The objective of this research is to assess the potential impact of climate change on the spatial distribution of *Khaya senegalensis* and *Azelia africana* habitats, which are two woody forage species subjected to high

anthropogenic pressures in the catchment of the Sota. The MaxEnt model (maximum entropy) was used to predict the habitats of these tree fodder species using their points of presence and bioclimatic variables. For future climate projections, three of the most recommended Global Circulation Models (GCMs) were used. These are the Canadian Center for Climate Modeling (CCCMA), HadCM3 (Hadley Center for Coupled Model Version 3), and CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). For all of these models, projections for 2050 were used under the A2 emission scenario. The results of the modeling show that annual precipitation is the bioclimatic parameter that has most contributed to the prediction of the habitat distribution of the species studied. These results suggest that climate change will affect the habitat distribution of these species differently in protected areas and village lands. The impact of climate change on habitats favorable to these species will be less important from the point of view of the variation of their areas than that of their spatial distribution in the catchment of the Sota.

Keywords : *climate change, tree fodder species, modeling, Sota catchment area, Benin.*

1. Introduction

Les changements climatiques constituent actuellement, l'un des principaux dangers qui menacent la biodiversité [1]. Il est de plus en plus probable que les fluctuations des variables climatiques telles les précipitations et la température auront une incidence sur la diversité biologique et sur la répartition géographique des habitats favorables aux espèces [2]. L'impact des changements climatiques sur la végétation a fait l'objet de plusieurs travaux scientifiques [3 - 6] et demeure une préoccupation centrale des gestionnaires des ressources végétales. En Afrique, la question de l'impact des changements climatiques sur la biodiversité est d'autant plus inquiétante que d'après les projections, 20 à 30 % des espèces végétales et animales feront face à un plus grand risque d'extinction si le réchauffement global excède 1,5°C à 2,5°C [2, 7]. De même, il a été mentionné que 25 à 42 % des espèces végétales pourraient être menacées d'extinction du fait d'une perte de 81 à 97 % des habitats favorables d'ici 2085 [8]. Face à de telles menaces annoncées, la végétation ligneuse fourragère des parcours naturels présenterait une vulnérabilité accrue du fait des fortes pressions auxquelles elle est déjà soumise. En effet, dans plusieurs régions africaines, cette végétation subit actuellement une régression généralisée sous l'effet de la baisse constante des précipitations depuis les années soixante, de l'extension des surfaces cultivées, des systèmes d'élevage entraînant souvent la surexploitation de cette ressource et d'une demande urbaine en bois en augmentation rapide [9].

Au Bénin, les ligneux fourragers constituent un appoint alimentaire important pour les ruminants domestiques notamment en saison sèche [10]. Pourtant certaines espèces ligneuses fourragères comme *Azelia africana* et *Khaya senegalensis* sont menacées et déjà inscrites sur la Liste Rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) alors qu'elles semblent même en danger critique d'extinction dans le pays [11]. Ces espèces ligneuses fourragères sont très vulnérables aux pressions anthropiques et deviennent de plus en plus rares [12, 13]. Plusieurs travaux ont montré l'importance des ligneux fourragers sur l'alimentation des ruminants [14 - 16]. D'autres aspects (caractéristiques dendrométriques, dynamique, etc.) des ligneux fourragers ont été étudiés à travers différentes études [17, 18]. Mais peu de littératures sont disponibles sur l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition géographique des espèces ligneuses fourragères. Pourtant l'identification des limites des habitats favorables mais aussi des points de concentration des espèces permet de connaître les endroits propices à leur sylviculture [19]. Elle permet également de prendre des décisions sur les lieux où les efforts de conservation doivent être concentrés pour un impact optimal, et ce dans un contexte de ressources financières limitées [20]. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition spatiale des habitats de *Khaya senegalensis* et *Azelia africana* qui sont deux espèces ligneuses fourragères soumises à de fortes pressions anthropiques dans le bassin versant de la Sota (BVS).

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

La présente recherche a été réalisée dans le bassin versant de la Sota (BVS) situé au Nord-est du Bénin (*Figure 1*).

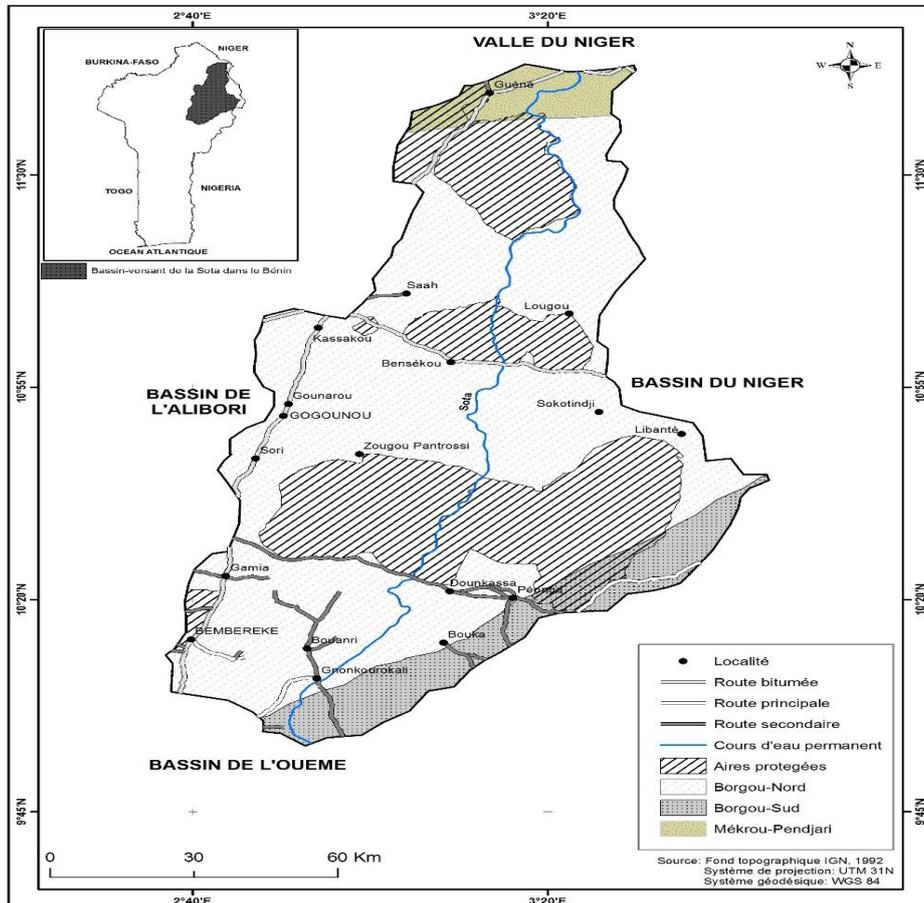


Figure 1 : Localisation du bassin versant de la Sota

Il est localisé entre $9^{\circ}55'44''$ et $11^{\circ}55'08''$ de latitude Nord et entre $2^{\circ}36'26''$ et $3^{\circ}46'25''$ de longitude Est. Sur le plan climatique, le BVS est sous l'influence du climat tropical de type soudanien et tend progressivement vers le climat sahélien dans son extrême nord. Ce climat est caractérisé par une saison pluvieuse et une saison sèche. La pluviométrie annuelle est marquée par une grande variabilité (*Figure 2*). Il en est de même de la température. A la station de Kandi, le mois d'avril est le mois le plus chaud avec des températures moyennes minimales de 25°C à 28°C et maximales de 37°C à 41°C . Sur le plan biogéographique, le BVS s'étend sur trois districts phytogéographiques (Sud-Borgou, Nord-Borgou et Mékrou-Pendjari) de la région soudanienne. Les sols du bassin sont majoritairement ferrugineux. La physionomie de la végétation est dominée par les savanes boisées, arborées, arbustives et herbeuses avec des galeries forestières le long des cours d'eau. Les espèces les plus rencontrées sont *Anogeissus leiocarpa*, *Detarium microcarpum*, *Daniellia oliveri*, *Isoerlinia doka*, *Azelia africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Khaya senegalensis*, etc. L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités des populations. Le BVS abrite un important cheptel de ruminants entretenu selon le mode d'élevage extensif. C'est aussi une zone qui accueille et dans laquelle transitent des troupeaux transhumants en saison sèche. Ces différentes activités sont sources de fortes pressions sur les ressources ligneuses disponibles particulièrement sur *Khaya senegalensis* et *Azelia africana*.

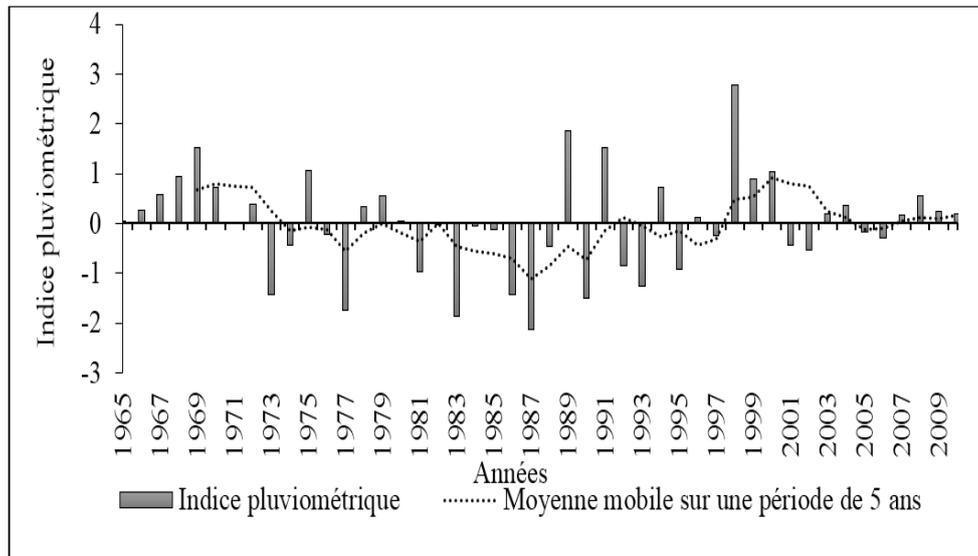


Figure 2 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le bassin versant de la Sota (1965 - 2010)

2-2. Méthodes

2-2-1. Données d'occurrence des deux espèces ligneuses fourragères

Les données d'occurrence des espèces cibles (*Khaya senegalensis* et *Azelia africana*) sont les coordonnées géographiques (latitude et longitude en degrés décimaux) des points de présence de ces espèces. Ces données d'occurrence ont été collectées lors des travaux de terrain dans le BVS dans les terroirs et les aires protégées. Pour améliorer la précision de la modélisation, il est préconiser d'utiliser des données de présence qui couvrent le plus possible la région où les espèces sont influencées par les mêmes facteurs climatiques [21]. A cette fin, les données de présence de ces espèces en dehors du BVS ont été collectées dans leur aire de distribution en Afrique de l'Ouest. Ces données complémentaires ont été obtenues dans les bases de données du Laboratoire d'Ecologie Appliquée de l'Université d'Abomey-Calavi et du site www.gbif.org qui est le site internet du système mondial d'information sur la biodiversité c'est-à-dire le Global Biodiversity Information Facility (GBIF) en anglais.

2-2-2. Données bioclimatiques et environnementales

Les données climatiques actuelles et futures de l'aire globale de distribution téléchargées du site de Worldclim (www.worldclim.org) ont été utilisées. Il s'agit de dix-neuf (19) paramètres bioclimatiques (**Tableau 1**) de résolution 2,5 arc-minute au sol générés à partir des données brutes de précipitations et de températures (**Tableau 1**). Pour les conditions climatiques futures, trois modèles de circulation générale parmi les plus recommandés [2] ont été utilisés. Il s'agit des modèles CCCMA (Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis); HadCM3 (Hadley Centre for Coupled Model version 3) et CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). Ces trois modèles ont été tournés avec le scénario d'émission A2 de l'IPCC. Ce scénario décrit un monde très hétérogène, une population à fort taux de croissance avec un faible niveau technologique et de développement. Le scénario A2 a été choisi parce que la situation qu'il décrit est considérée comme la plus probable pour le continent à l'horizon [22].

Tableau 1 : Variables bioclimatiques utilisées pour générer les cartes de distribution potentielle des espèces fourragères

Variables environnementales BIOCLIM	
Bio_1	Température moyenne annuelle
Bio_2	Variation journalière moyenne des températures [moyenne mensuelle (max température - mini température)]
Bio_3	Ratio de l'amplitude thermique journalière sur l'amplitude thermique annuelle
Bio_4	Saisonnalité de la température (écart-type *100)
Bio_5	Température maximale du mois le plus chaud
Bio_6	Température minimale du mois le plus froid
Bio_7	Variation annuelle de température
Bio_8	Température moyenne du trimestre le plus humide
Bio_9	Température moyenne du trimestre le plus sec
Bio_10	Température moyenne du trimestre le plus chaud
Bio_11	Température moyenne du trimestre le plus froid
Bio_12	Précipitation annuelle
Bio_13	Précipitation du mois le plus humide
Bio_14	Précipitation du mois le plus sec
Bio_15	Saisonnalité de la précipitation (coefficient de variation)
Bio_16	Précipitation du trimestre le plus humide
Bio_17	Précipitation du trimestre le plus sec
Bio_18	Précipitation du trimestre le plus chaud
Bio_19	Précipitation du trimestre le plus froid

Source : <http://www.worldclim.org>

2-2-3. Traitement et analyse des données

2-2-3-1. Modélisation de la distribution des habitats (actuels et futurs) des espèces

Il existe plusieurs méthodes de modélisation de la distribution des espèces [23]. C'est le modèle MaxEnt qui a été utilisé dans la présente recherche. Il est l'une des méthodes de modélisation les plus appropriées permettant de bien distinguer les habitats favorables et non favorables à une espèce d'un point de vue bioclimatique [24]. Ce modèle a été déjà utilisé au Bénin avec succès par plusieurs auteurs [19, 20, 25 - 29]. MaxEnt utilise une approche statistique appelée entropie maximum pour faire des prévisions de distribution d'une espèce en fonction de l'entropie maximale de chaque variable environnementale utilisée. La modélisation avec MaxEnt peut se faire aussi bien avec des variables quantitatives que qualitatives [30]. Pour effectuer la modélisation à proprement parler, les variables bioclimatiques téléchargées ont été soumises à un test de corrélation afin de sélectionner celles les moins corrélées ($r < 0,80$) compte tenu des biais que les fortes corrélations pourraient avoir sur les projections futures [31]. Le modèle a été calibré avec 75 % des points de présence (coordonnées géographiques) et le reste des points a été utilisé pour le tester. La validation croisée du modèle a été répétée quatre fois pour apprécier le pouvoir moyen de MaxEnt à projeter la distribution de l'espèce. La performance du modèle a été évaluée en utilisant la statistique AUC (Area Under the Curve) [24]. Un modèle est qualifié d'excellent si la valeur de l'AUC est supérieure à 0,90 [32]. L'importance de chaque variable dans l'explication de la distribution de chaque espèce a été déterminée par le test de Jackknife [24]

2-2-3-2. Cartographie des habitats actuels et futurs des espèces

Les résultats issus de la modélisation avec MaxEnt ont été importés dans le logiciel ArcGis 10.1 pour spatialiser les différents habitats des espèces en fonction des probabilités logistiques d'occurrence. A cet effet, trois classes d'habitat ont été définies. Il s'agit, en fonction des probabilités logistiques d'occurrence, (i) des habitats peu favorables, (ii) des habitats favorables et (iii) des habitats très favorables. De même, l'outil d'analyse spatiale d'ArcGis 10.1 a permis de calculer la superficie de chaque type d'habitat. A partir de ces superficies calculées, la tendance de chaque type d'habitat (proportion de perte ou de gain) a été estimée.

2-2-3-3. Analyse des impacts des changements climatiques sur la conservation de ces espèces par les aires protégées

La superposition de la carte des aires protégées du bassin de la Sota avec la carte de distribution des habitats a permis d'analyser la capacité de ces aires protégées à conserver ces deux espèces fourragères.

3. Résultats

3-1. Contribution des variables et validation du modèle pour *Khaya senegalensis*

La **Figure 3** présente le test de Jackknife sur l'importance des variables individuelles utilisées dans le modèle de prédiction. Ce test a permis de déterminer les variables qui ont le plus contribué à la prédiction du modèle.

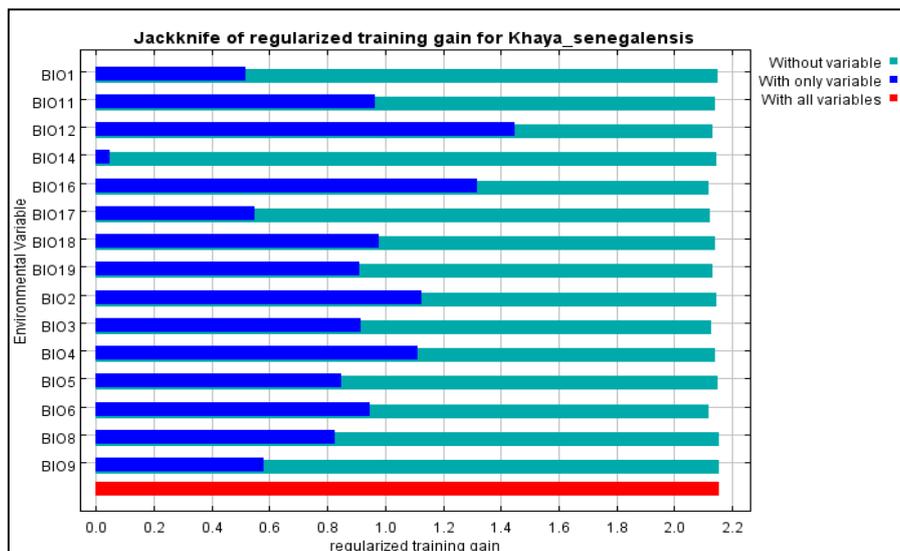


Figure 3 : Test de Jackknife sur l'importance des variables environnementales individuelles utilisées pour *Khaya senegalensis*

Source : Résultats de traitement des données

De l'observation de la **Figure 3**, il ressort que les variables environnementales individuelles telles que le BIO12 (Précipitation annuelle), le BIO16 (Précipitation du trimestre le plus humide), le BIO2 (Variation journalière moyenne des températures [moyenne mensuelle (max température - mini température)]) et le BIO4 (Saisonnalité de la température (écart-type *100)) ont beaucoup plus contribué à la prédiction du modèle de distribution. La **Figure 4** présente les statistiques de l'AUC issues des modèles de prédiction des habitats favorables à la présence actuelle et future de *Khaya senegalensis* dans le bassin versant de la Sota.

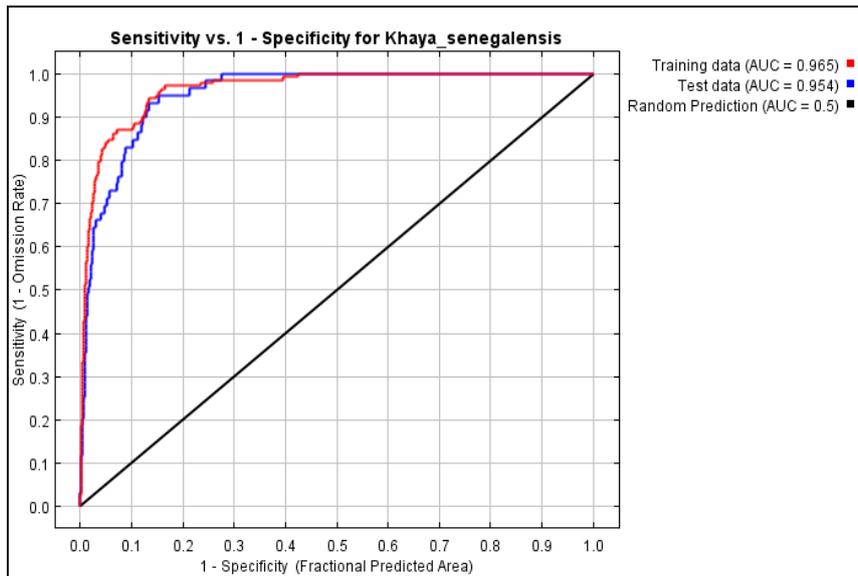


Figure 4 : Présentation des valeurs de AUC relatives à *Khaya senegalensis*

Source : Résultats de traitement des données

L'examen de la **Figure 4** indique que les valeurs de calibration et du test de l'AUC sont respectivement de 0,97 et de 0,95. Ces valeurs indiquent que le modèle de prédiction de *Khaya senegalensis* est performant.

3-1-1. Impacts des changements climatiques sur la distribution actuelle et future des habitats de *Khaya senegalensis*

Le **Tableau 2** montre la variation des superficies des habitats favorables à la présence actuelle et future de *Khaya senegalensis* et la **Figure 5** présente la carte de spatialisation de ces habitats dans le bassin de la Sota.

Tableau 2 : Variation des superficies des habitats favorables à *Khaya senegalensis*

Modèles	Habitat très favorable		Habitat favorable		Habitat peu favorable	
	Superficie (Km ²)	Proportion (%)	Superficie (Km ²)	Proportion (%)	Superficie (Km ²)	Proportion (%)
Présent	10625	-	3825	-	1625	-
CCCMA	10975	3,29	1650	- 56,86	3450	112,31
HadCM3	2200	- 79,29	4800	25,49	9075	458,46
CSIRO	2950	- 72,24	4225	10,46	8900	447,69

Les résultats du modèle CCCMA (**Tableau 2**), indique que les habitats actuellement très favorables à *Khaya senegalensis* connaîtront une augmentation de 3,29 % de leur superficie à l'horizon 2050. Les habitats actuellement peu favorables connaîtront une augmentation de 112,31 %. Par contre, les habitats favorables connaîtront une diminution de près de 57 %. Le modèle HadCM3 indique une diminution d'environ 79 % des habitats actuellement très favorables et une augmentation de 25,49 % des habitats favorables. Par ailleurs, les habitats peu favorables connaîtront une augmentation d'environ 458 % à l'horizon 2050. La prédiction avec le modèle CSIRO, indique une diminution de 72,24 % des habitats actuellement très favorables. Par contre, les habitats favorables et peu favorables présentent respectivement une augmentation de 10,46 % et de 448 % à l'horizon 2050 (**Figure 5**).

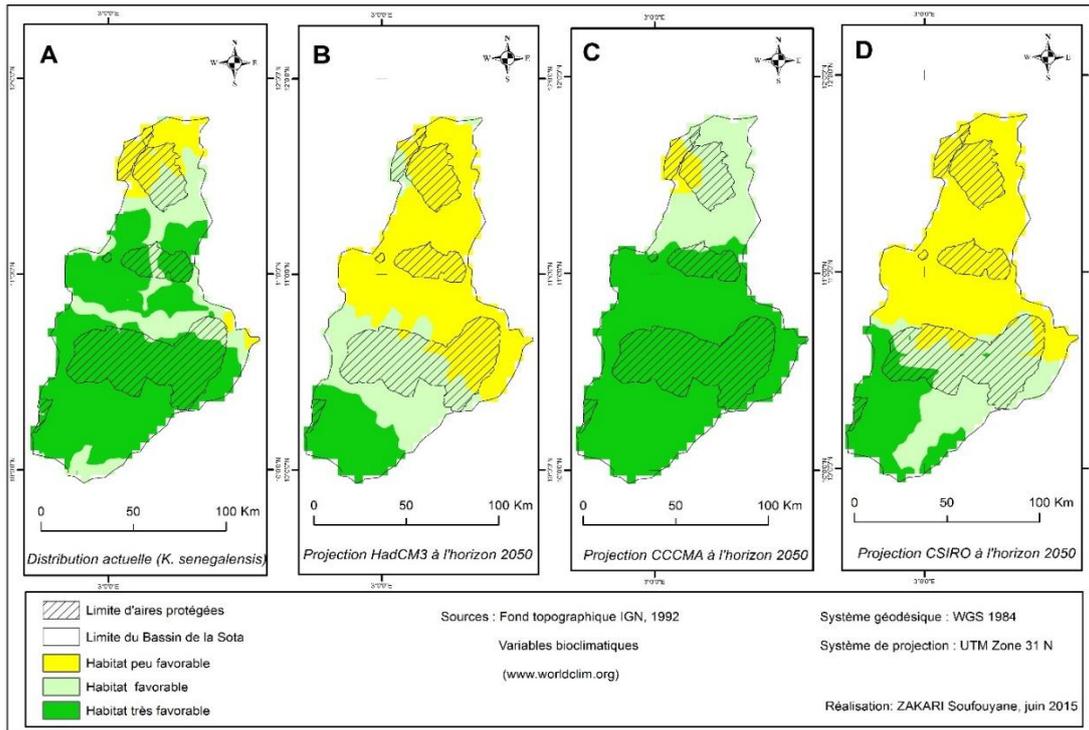


Figure 5 : Spatialisation des habitats favorables à *Khaya senegalensis* dans le bassin versant de la Sota

3-2. Contribution des variables et validation du modèle pour *Afzelia africana*

La **Figure 6** présente le test de Jackknife sur l'importance des variables individuelles utilisées dans le modèle de prédiction. Ce test a permis de déterminer les variables qui ont le plus contribué à la prédiction du modèle.

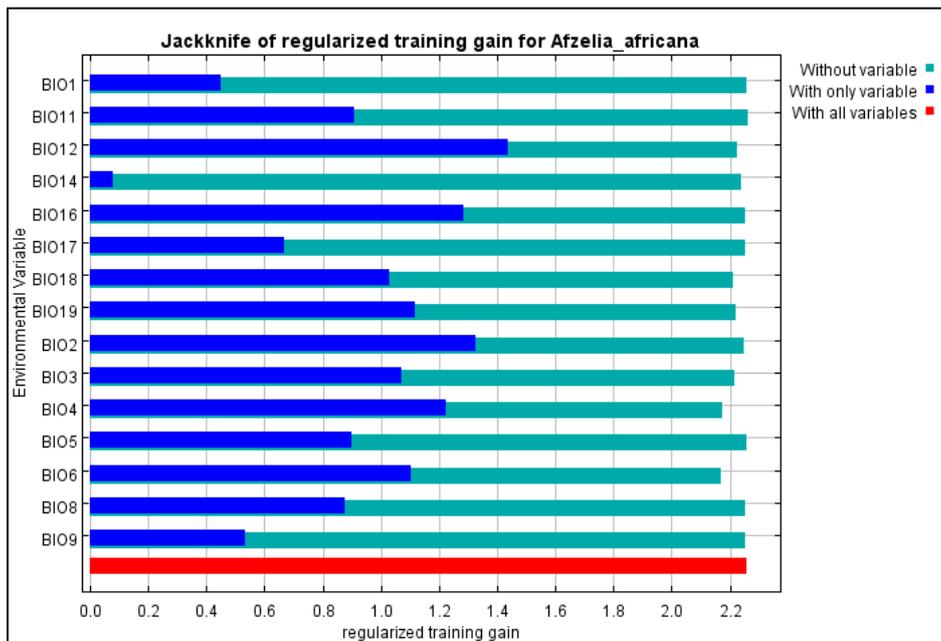


Figure 6 : Test de Jackknife sur l'importance des variables environnementales individuelles utilisées pour *Afzelia africana*

Source : Résultats de traitement des données

De l'observation de la **Figure 6**, il ressort que les variables environnementales individuelles telles que le BIO12 (Précipitation annuelle), le BIO2 (Variation journalière moyenne des températures [moyenne mensuelle (max température – mini température)]), le BIO16 (Précipitation du trimestre le plus humide), le BIO4 (Saisonnalité de la température, écart-type *100) ; Bio_5 (Température maximale du mois le plus chaud), le BIO6 (Température minimale du mois le plus froid), le BIO3 (Ratio de l'amplitude thermique journalière sur l'amplitude thermique annuelle), le BIO19 (Précipitation du trimestre le plus froid) et le BIO18 (Précipitation du trimestre le plus chaud) ont beaucoup plus contribué à la prédiction du modèle de distribution. La **Figure 7** présente les statistiques de l'AUC issues des modèles de prédiction des habitats favorables à la présence actuelle et future de *Afzelia africana* dans le bassin de la Sota.

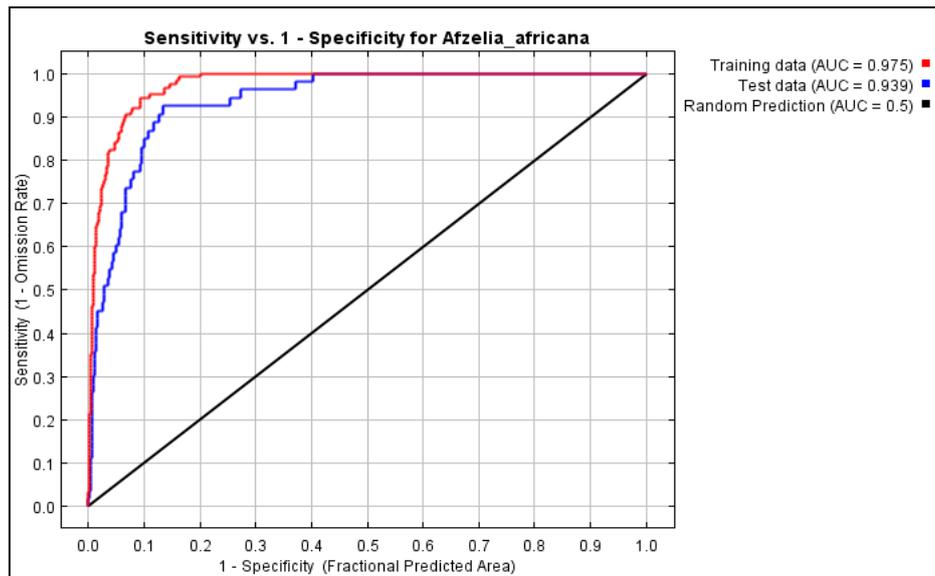


Figure 7 : Présentation des valeurs de AUC relatives à *Afzelia africana*

Source : Résultat de traitement des données

L'examen de la **Figure 7** indique que les valeurs de calibration et du test de l'AUC sont respectivement de 0,98 et de 0,94. Ces valeurs indiquent que le modèle de prédiction de *Afzelia africana* est performant.

3-2-1. Impacts des changements climatiques sur la distribution actuelle et future des habitats de *Afzelia africana*

Le **Tableau 3** présente la variation des superficies des habitats favorables à la présence actuelle et future de *Afzelia africana* et la **Figure 8** présente la carte de spatialisation de ces habitats dans le bassin de la Sota.

Tableau 3 : Variation des superficies des habitats favorables à *Afzelia africana*

Modèles	Habitat très favorable		Habitat favorable		Habitat peu favorable	
	Superficie (Km ²)	Proportion (%)	Superficie (Km ²)	Proportion (%)	Superficie (Km ²)	Proportion (%)
Présent	7800	-	5000	-	3275	-
CCCMA	8600	10,26	6000	20	1475	- 54,96
HadCM3	2975	- 61,86	5850	17	7250	121,37
CSIRO	10050	28,85	3225	- 35,5	2800	- 14,50

Le modèle CCCMA indique une augmentation de 10,26 % de la superficie des habitats très favorables pour *Afzelia africana* à l'horizon 2050 (**Tableau 3**). Les habitats actuellement favorables connaîtront une augmentation de 20 % de leur superficie ; par contre les habitats peu favorables connaîtront une diminution de 55 % de leur superficie. Avec le modèle HadCM3, les habitats actuellement très favorables à *Afzelia africana* connaîtront une diminution de 62 % de leur superficie. Par contre, les habitats favorables et peu favorables connaîtront respectivement une augmentation de 17 % et de 121 % de leurs superficies à l'horizon 2050. Avec le modèle CSIRO, une augmentation de 29 % de la superficie des habitats actuellement très favorables sera observée. Les habitats favorables et peu favorables connaîtront respectivement une diminution de 36 % et une augmentation de 15 % à l'horizon 2050 (**Figure 8**).

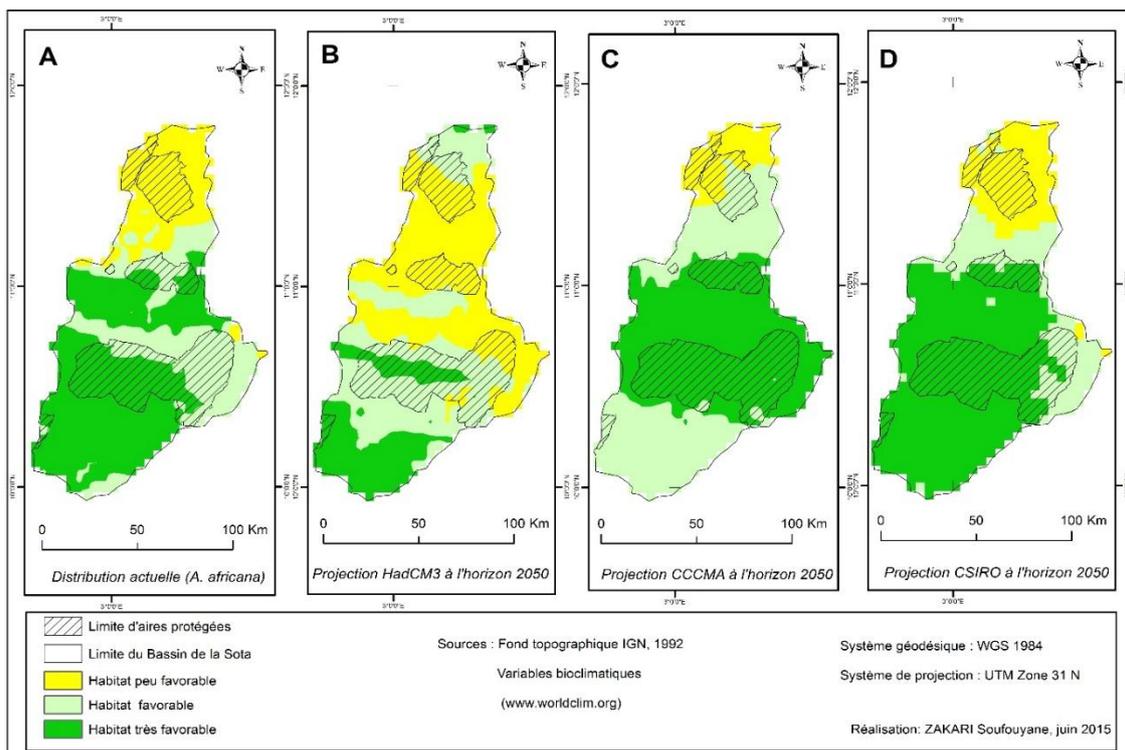


Figure 8 : Spatialisation des habitats favorables à *Afzelia africana* dans le bassin versant de la Sota

3-2-2. Impact des changements climatiques sur l'étendue des habitats favorables à la conservation des deux espèces fourragères

Dans le BVS, la superficie totale des aires protégées est de 4317, 32 Km². En général, une bonne partie de l'étendue de ces aires protégées est constituée actuellement des habitats très favorables et favorables à la conservation des deux espèces fourragères. Pour *Khaya senegalensis*, l'ensemble des habitats très favorables et favorables occupent plus de 86 % de la superficie de ces aires protégées (**Figure 5 et Tableau 4**). Cette proportion est de 76,50 % pour *Afzelia africana*, (**Figure 8 et Tableau 4**).

Tableau 4 : Superficie des habitats favorables à la conservation des deux espèces fourragères

Espèces	Habitat très favorable		Habitat favorable		Habitat peu favorable	
	Superficie (Km ²)	Proportion (%)	Superficie (Km ²)	Proportion (%)	Superficie (Km ²)	Proportion (%)
<i>Khaya senegalensis</i>	2957,30	68.50	774.35	17.94	569.68	13.20
<i>Afzelia africana</i>	1909,99	44.24	1393.10	32.27	986.58	22.85

Pour *Khaya senegalensis*, la projection avec le modèle CCCMA prédit que 90,35 % de la superficie des aires protégées du BVS sera constituée des habitats très favorables et favorables à l'espèce. Il s'agit là d'une augmentation de + 3,92 % par rapport à la distribution actuelle de l'espèce. Par contre, les modèles HadCM3 et CSIRO prédisent des pertes respectives de - 41,43 % et -34,22 % desdits habitats dans les aires protégées par rapport à la distribution actuelle de l'espèce. Pour *Azelia africana*, le modèle HadCM3 projette qu'environ 59 % de la superficie des aires protégées sera constituée des habitats très favorables et favorables à l'espèce. Avec les modèles CCCMA et CSIRO, les prédictions indiquent des proportions respectives de 87,19 % et de 77,58 % de la superficie des aires protégées qui abritera les habitats très favorables et favorables à *Azelia africana* à l'horizon 2050. Par rapport à la distribution actuelle de l'espèce dans les aires protégées du bassin, il s'agit des gains de superficie d'habitats très favorables et favorables.

4. Discussion

La détermination des distributions actuelle et future des habitats des deux espèces a été possible grâce à la contribution de certaines variables bioclimatiques. Parmi ces variables, la variable BIO12 (précipitation annuelle) est celle ayant le plus contribué à la prédiction des habitats des espèces étudiées. Pour le modèle HadCM3, les projections climatiques indiquent une diminution très sensible des habitats actuellement très favorables à ces deux espèces à l'horizon 2050. Ce constat est contraire à ce à quoi on pourrait logiquement s'attendre étant donné que ce modèle prédit une augmentation des précipitations. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par les auteurs [19] avec les modèles CCCMA et HadCM3 sur *Tamarindus indica*. Cette situation peut s'expliquer par le fait que, lors du calibrage du modèle, les données relatives aux caractéristiques écologiques stationnelles des points de présence de ces espèces n'ont pas été prises en compte. Ainsi, la prise en compte de certaines caractéristiques écologiques telles que la température, la nature du substrat et l'altitude pourrait améliorer les résultats obtenus et par conséquent permettra de mieux les expliquer. Ce point de vue est partagé par plusieurs auteurs [25, 27]. Pour les autres modèles, on ne note pas une variation tendancielle des superficies des différents habitats de ces espèces à l'horizon 2050. En général, ces résultats démontrent que la plupart des habitats actuellement très favorables seront très négativement impactés par les changements climatiques. En revanche, la viabilité de ces espèces n'est pour autant compromise en considérant les résultats obtenus des projections au niveau des habitats actuellement favorables et peu favorables.

Ainsi, quel que soit le modèle (CCCMA, HadCM3 et CSIRO) utilisé, les changements climatiques influenceront, d'une manière ou d'une autre, la distribution des espèces étudiées. Le véritable problème auquel ces espèces sont actuellement confrontées reste et demeure l'exploitation forestière et l'émondage répété. Malgré tout, ces résultats constituent de données précieuses pour l'élaboration de mesures efficaces d'adaptation de l'élevage aux contraintes climatiques actuelles et futures. La modélisation des niches écologiques a souvent été citée comme un puissant outil pour cartographier la distribution actuelle et future des espèces et prédire l'impact des changements climatiques sur leur distribution [33]. Cependant, ces modèles ont aussi été très critiqués compte tenu de leurs faiblesses quant à prédire l'impact des changements climatiques sur la répartition géographique des espèces. Aussi, la dynamique actuelle d'occupation des terres et sa tendance évolutive indique que la quasi-totalité des habitats favorables à la présence de ces espèces d'ici 2050 sont déjà occupés par des mosaïques de cultures et jachères et des agglomérations [34]. La non prise en compte du devenir de l'occupation des terres constituent alors une limite du modèle. Si les tendances évolutives actuelles de l'occupation des terres sont maintenues et toute chose étant égale par ailleurs, les différentes projections relatives aux habitats des espèces étudiées peuvent être perturbées. Ces projections ont toutefois le mérite d'indiquer les habitats favorables à l'horizon 2050. En effet, la connaissance de la répartition des habitats (favorables ou non) d'une espèce est une donnée importante pour la conservation de cette espèce [35] ; des dispositions de conservation de ces habitats peuvent être prises dans le cadre de l'aménagement du territoire [36]

5. Conclusion

Les résultats de la présente recherche ont permis d'évaluer les impacts des changements climatiques sur la répartition spatiale des habitats des espèces fourragères *Khaya senegalensis* et *Azelia africana* dans le bassin versant de la Sota à l'horizon 2050. Les résultats montrent que parmi les dix-neuf variables environnementales testées pour la modélisation, la précipitation annuelle (BI012) est la variable environnementale ayant le plus contribué à la prédiction de la distribution des habitats des deux espèces étudiées. Ces résultats suggèrent que les changements climatiques impacteront différemment la distribution des habitats de ces espèces. Ainsi, les conditions environnementales futures seront globalement propices à la distribution des habitats favorables à ces espèces. De même les aires protégées du bassin de la Sota seront efficaces pour conserver ces espèces fourragères très recherchées. La survie de ces deux espèces fourragères ne serait pas menacée par les conditions environnementales futures. Il faut néanmoins rester prudent du fait des limites inhérentes à tout modèle. Une limite de la présente modélisation est liée au fait qu'elle n'ait pas pris en compte le devenir de l'occupation des terres dans le bassin de la Sota. Ces résultats pourront aider à la prise de décisions relatives à la conservation de ces espèces fourragères. L'utilisation d'un modèle intégré prenant en compte le devenir de l'occupation des terres pour prédire la distribution spatiale des habitats des espèces végétales constitue un nouvel axe de recherche prometteur.

Références

- [1] - GIEC, Changements climatiques : les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC, (2013) 34 p.
- [2] - IPCC, Climate change : synthesis report. New York, USA : Cambridge University Press, (2007)
- [3] - L. HUGHES, Biological consequences of global warming : is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 15 (2) (2000) 56 - 61
- [4] - C. PARMESAN, Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37 (2006) 637 - 669
- [5] - F. LEBOURGEOIS, J. C. PIERRAT, V. PEREZ, C. PIEDALLU, S. CECCHINI et E. ULRICH, Simulating phenological shifts in French temperate forests under two climatic change scenarios and four driving GCMs. *Int. J. Biometeorol.*, 54 (5) (2010) 563 - 581
- [6] - A. Y. TCHETANGNI, A. E. ASSOGBADJO et T. HOUHANOU, Perception paysanne des effets du changement climatique sur la production des noix d'anacardier (*Anacardium Occidentale* L.) dans la commune de Savalou Au Bénin, *European Scientific Journal*, 12 (2016) 220 - 239
- [7] - J. W. BUSBY, T. G. SMITH, K. L. WHITE et S. M. STRANGE, Locating climate insecurity : where are the most vulnerable places in Africa? Austin, TX, USA : University of Texas, The Robert Strauss Center for International Security and Law, Climate Change and African Political Stability (CCAPS) Programme, (2010)
- [8] - M. BOKO et al., Africa. In M.L Parry. et al., eds. Climate change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the 4th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, (2007) 433 - 467
- [9] - J. ONANA et J.-L. DEVINEAU, *Azelia africana* Smith ex Persoon dans le Nord-Cameroun. Etat actuel des peuplements et utilisation pastorale, *Revue Elev. Méd. Vét.*, 55 (1) (2002) 39 - 45
- [10] - L. AKPO, 1^{er} rapport d'activités annuel du projet Gestion et conservation des ligneux fourragers des parcours communautaires en Afrique de l'Ouest, Secrétariat Exécutif Sud Expert Plantes, (2008) 14 p.
- [11] - C. A. ADOMOU, B. SINSIN et L. J. G. VAN DER MAESEN, Phytosociological and chorological approaches to phytogeography: a mesoscale study in Benin. *Systematics and Geography of Plants*, 76 (2006) 155 - 178

- [12] - T. D. HOUHANOU, R. L. GLÈLÈ KAKAÏ, A. E. ASSOGBADJO, V. KINDOMIHOU, M. HOUINATO, R. WITTIG et B. A. SINSIN, Change in the woody floristic composition, diversity and structure from protected to unprotected savannas in Pendjari Biosphere Reserve (Benin, West Africa). *African Journal of Ecology*, 51 (2013) 358 - 365
- [13] - O. SARR, S. DIATTA, M. GUEYE, P. M. NDIAYE, A. GUISSSE et L. E. AKPO, Importance des ligneux fourragers dans un système agropastoral au Sénégal (Afrique de l'ouest), *Revue Méd. Vét.*, 164 (1) (2013) 2 - 8
- [14] - M. HOUINATO, Phytosociologie, écologie, production et capacité de charge des formations végétales pâturées dans la région des Monts Kouffé (Bénin) Th. Doc. Uni. Lib. Br., (2001) 219 p.
- [15] - N. BRISSE, M. HOUINATO, C. ADANDÉDJAN et B. SINSIN, Dry season woody fodder productivity in savannas. Short communication. *Ghanaian Journal of Animal Science*, 2 et 3 (1) (2007) 181 - 185
- [16] - O. TEKA, J. VOGT et B. SINSIN, Impacts de l'élevage sur les ligneux fourragers et contribution à la gestion intégrée de *Khaya senegalensis* et *Azelia africana*, deux espèces menacées d'extinction dans la région des Monts-Kouffé au Bénin, *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 55 (2007) 25 - 35
- [17] - B. SINSIN, O. EYOG-MATIG, T. SINADOUWIROU et A. ASSOGBADJO, Dendrometric characteristics as indicators of pressure of *Azelia africana* Sm. Dynamic changes in trees found in different climate zones of Benin. *Biodiversity and Conservation*, 13 (8) (2004) 1555 - 1570
- [18] - G. A. KOUKOUBOU, Contribution à l'étude ethnobotanique et caractérisation des populations de quatre espèces ligneuses (*Azelia africana* Smith ex Pers., *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch et Dalz., *Pterocarpus erinaceus* Poir et *Khaya senegalensis* (Ders.) A. Juss. : Cas de la réserve de Biosphère de la Pendjari et ses terroirs riverains. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, (2008) 118 p.
- [19] - B. FANDOHAN, G. 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.*, 17 (3) (2013) 450 - 462
- [20] - S. G. C. ADJAHOSSOU., G. N. GOUWAKINNOU, D. T. HOUHANOU, A. I. SODE, A. S. YAOITCHA, M. R. HOUINATO, et B. SINSIN, Efficacité des aires protégées dans la conservation d'habitats favorables prioritaires de ligneux de valeur au Bénin, *Bois et Forêts des Tropiques*, 328 (2) (2016) 67 - 76.
- [21] - M. C. FITZPATRICK et W. W. HARGROVE, The projection of species distribution models and the problem of non-analog climate, *Biodivers. Conserv*, 18 (2009) 2255 - 2261
- [22] - J. W. WILLIAMS, S. T. JACKSON et J. E. KUTSBACH, Projected distribution of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104 (2007) 5738 - 5742
- [23] - A. GUISSAN et W. THUILLER, Predicting species distribution : offering more than simple habitat models. *Ecol. Let.*, 8 (9) (2005) 993 - 1009
- [24] - S. J. PHILLIPS, R. P. ANDERSON et R. E. SCHAPIRE, Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecol. Model.*, 190 (2006) 231 - 259
- [25] - F. H. G GBESSO, B. H. A. TENTE., N. G. GOUWAKINNOU et B. A. SINSIN, Influence des changements climatiques sur la distribution géographique de *Chrysophyllum albidum* G. Don (Sapotaceae) au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (5) (2013) 2007 - 2018
- [26] - I. TOKO MOUHAMADOU, Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin, Thèse de Doctorat, EDP/FLASH/UAC, (2014) 202 p.
- [27] - A. R. A SALIOU, M. OUMOROU et B. A. SINSIN, Modélisation des niches écologiques des ligneux fourragers en condition de variabilité bioclimatique dans le moyen-Bénin (Afrique de l'ouest). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 70, (4) (2015) 342 - 353
- [28] - E. B. AYIHOUENOU, A.B. FANDOHAN, A. I. SODE et N. G. GOUWAKINNOU, Biogéographie du néré (*Parkia biglobosa* (Jack.) R. Br. ex. Don.) sous les conditions environnementales actuelles et futures au Bénin,

- Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)* - Numéro spécial Agronomie, Société, Environnement & Sécurité Alimentaire, (2016) 93 - 108
- [29] - E. M DOSSOU, T. O LOUGBEGNON, L. G. HOUSSOU et J. T. C CODJIA, Analyse de l'impact du changement climatique sur l'aire de distribution actuelle et future de *Lannea microcarpa* Engl. et K. Krause au Bénin, Afrique de l'Ouest, *Afrique Science*, Vol. 12, N°1 (2016)
- [30] - A. S. FRIEDLAENDER, D. W. JOHNSTON, W. R. FRASER, J. BURNS, N. H. PATRICK et D. P. COSTA, Ecological niche modeling of sympatric krill predators around Marguerite Bay, Western Antarctic Peninsula. Deep Sea Research Part II. *Topical Studies in Oceanography*, 58 (13 - 16) (2011) 1729 - 1740
- [31] - J. ELITH, M. KEARNEY et S. PHILIPS, The art of modelling range-shifting species. *Methods Ecol. Evol.*, 1 (2011) 330 - 342
- [32] - M. B ARAÚJO et A. GUISAN, Five (or so) challenges for species distribution modelling. *J. Biogeogr.*, 33 (10) (2006) 1677 - 1688
- [33] - M. VAN ZONNEVELD, J. KOSKELA, B. VINCETI et A. JARVIS, Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia *Unasylva*, 231/232 (2009) 24 - 29
- [34] - S. ZAKARI, Vulnérabilité des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Coubéri (Bénin), Thèse de Doctorat, EDP/FLASH/UAC, (2015) 203 p.
- [35] - M. W. SCHWARTZ, Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions, *Biol. Conserv.*, 155 (2012) 149 - 156
- [36] - O. AROUNA, Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, (2012) 246 p.