



Impact potentiel du changement climatique sur la dynamique des peuplements de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub. à l'horizon 2050 au Niger

Abdou Laouali*¹, Abdourahamane Illiassou Salamatou¹, Moussa Mamoudou Boubacar¹, Mahamane Ali^{1,2}

¹Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques, BP 78, Diffa, Niger ;

²Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila, BP 10662 Niamey-Niger

*Auteur correspondant : abdoulaouali2000@yahoo.fr

Original submitted in on 15th September 2020. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 30th November 2020
<https://doi.org/10.35759/JABs.155.9>

RESUME

Objectif : *Prosopis africana* est une espèce de grande importance socio-économique menacée par les pressions anthropiques au Niger. L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'impact du changement climatique sur les habitats favorables au développement de cette espèce au Niger à travers une modélisation de sa distribution potentielle à l'horizon 2050.

Méthodologie et Résultats : La méthode a consisté à utiliser des données bioclimatiques et des points de présence de l'espèce pour modéliser sa distribution géographique potentielle en 2020 puis à l'horizon 2050 à l'aide des programmes MAXENT 3.3.3k et QGIS 2.18. Les distributions futures ont été modélisées selon le scénario A2, à l'aide des modèles Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CCCMA), Hadley Centre for Coupled Model version 3 (HadCM3) et Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). La température moyenne du trimestre le plus chaud et les précipitations annuelles sont les variables qui ont le plus contribué aux modèles. Tous les modèles suggèrent globalement une augmentation des aires de distribution de *P. africana* au Niger. La bande sud du pays, où la pluviométrie est plus importante, constitue la zone favorable au développement actuel et futur de l'espèce.

Conclusion et applicabilité des résultats : Cette étude a permis de comprendre que *P. africana* n'est pas menacé par le changement climatique. Néanmoins, compte tenu de son importance socio-économique et de la nécessité de la conserver, des opérations de plantation doivent être envisagées dans tous les habitats nouvellement favorables à son développement pour prévenir le faible pouvoir de régénération qui pourrait induire une lenteur de colonisation de ces milieux.

Mots clés : *Prosopis africana*, Changement climatique, Modélisation, Habitat, Niger.

Potential impact of climate change on *Prosopis africana* (G. and Perr.) Taub. stands dynamics by 2050 in Niger

ABSTRACT

Objective: *Prosopis africana* is a species of great socio-economic importance threatened by anthropogenic pressures in Niger. The main objective of this study is to determine the impact of climate change on habitats favorable to the development of this species in Niger by modeling its potential distribution by 2050.

Methodology and Results: The method consisted of using bioclimatic data and points of presence of the species to model its potential geographic distribution in 2020 and then by 2050 using the MAXENT 3.3.3k and QGIS 2.18 programs. Future distributions were modeled under the A2 scenario, using the models Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CCCMA), Hadley Centre for Coupled Model version 3 (HadCM3) and Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). The warmest quarter mean temperature and the annual precipitation were the variables that contributed the most to the models. All the models globally suggest an increase in the *P. africana* distribution areas in Niger. The southern strip of the country, where the rainfall is highest, is the most favorable zone for the current and future development of the species.

Conclusion and applicability of the results: This study allowed to understand that *P. africana* is not threatened by the climate change. Nevertheless, given its socio-economic importance and the necessity to conserve it, planting operations must be considered in all habitats newly favorable to its development to prevent the weak regeneration power which could induce a slow colonization of these environments.

Keywords: *Prosopis africana*, Climate change, Modeling, Habitat, Niger.

INTRODUCTION

De nos jours, l'impact du changement climatique dans toutes les régions du monde et particulièrement en Afrique n'est plus à démontrer. Les impacts du réchauffement planétaire sur les systèmes naturels et humains sont déjà visibles et de nombreux écosystèmes terrestres et océaniques et certains des services qu'ils rendent ont déjà changé sous l'effet du réchauffement planétaire (GIEC, 2018). Pour les prochaines décennies, plusieurs auteurs prévoient une forte dégradation des habitats favorables au développement de plusieurs espèces animales et végétales, avec comme conséquences leur régression, voire leur extinction (Heubes *et al.*, 2011 ; Boko *et al.*, 2007 ; Busby *et al.*, 2010 ; Sylvestre *et al.*, 2017). La situation est beaucoup plus préoccupante pour le Sahel, du fait de sa position géographique au sud de la lisière du désert saharien et de la forte dépendance de sa population à l'agriculture pluviale et à l'élevage (Ouoba, 2013). Par ailleurs, dans cette partie du monde, à l'image de tout le tiers monde, beaucoup de ligneux sont menacés de disparition de leurs habitats naturels à cause d'une surexploitation liée aux nombreux produits et

services qu'ils procurent (bois, alimentation et pharmacopée) aux populations (Diop *et al.*, 2005 ; Larwanou *et al.*, 2010 ; Chidumayo *et al.*, 2011 ; Priso *et al.*, 2011 ; Laouali *et al.*, 2014). Cette situation est aggravée par une forte croissance démographique et les conditions climatiques de plus en plus défavorables à leur développement (Ozer *et al.*, 2010 ; Auzel *et al.*, 2012). En effet, la zone de répartition naturelle des espèces est influencée, entre autres, par les variabilités climatiques telles que les précipitations, la température et la vitesse du vent (GIEC, 2007 ; Chidumayo *et al.*, 2011). En Afrique de l'ouest, *Prosopis africana* (G. et Perr.) fait partie des espèces les plus menacées à cause de l'exploitation et de l'utilisation de tous ses organes par les populations rurales dans la pharmacopée, l'alimentation, le bois d'œuvre et de service (Maydell, 1983 ; Baumer, 1987 ; Larwanou, 1994 ; Arbonnier, 2000 ; Agboola, 2004 ; Akaïmo *et al.*, 2006 ; Larwanou *et al.*, 2012 ; Laouali *et al.*, 2014). Caractérisée par une capacité de régénération naturelle faible (Ahoton *et al.*, 2009, Niang-Diop *et al.*, 2010), l'espèce *P. africana* est présente au

Niger sous forme de peuplements avec un habitat favorable estimé à 128692,32 km², soit 10,16% du territoire (Laouali *et al.*, 2016). Les études précitées se sont beaucoup plus intéressées aux impacts des actions anthropiques mais pas à ceux du changement climatique sur l'espèce. En Afrique de l'ouest, peu d'études se sont appesanties sur l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition géographique des habitats favorables des espèces (Fandohan *et al.*, 2013 ; Gbesso *et al.*, 2013 ; Saliou, 2015 ; Zakari, 2017), dont la connaissance est pourtant capitale pour une bonne

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude : Cette étude a couvert tout le territoire du Niger, soit 1 267 000 km² entre 11° 37' et 23° 33' de latitude Nord et entre 0° 10' et 16° 00' de longitude Est (Figure 1). Le climat est globalement chaud et sec avec toutefois une variabilité selon un gradient d'aridité Nord-Sud permettant de distinguer une zone saharienne au Nord (environ 2/3 du territoire) avec une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 200 mm, une zone sahélienne à pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 200 et 600 mm et au Sud une zone soudanienne dont la pluviométrie moyenne annuelle dépasse les 600 mm. Le passage d'une zone à l'autre est marqué par une bande de transition climatique. Cette dernière implique une variabilité dans la répartition spatiale de la végétation. Ainsi du Nord au Sud, la végétation varie des steppes aux forêts sèches et claires, en passant par les savanes et les fourrés à Combretaceae. Sur l'ensemble du territoire, les températures les plus élevées sont enregistrées aux mois d'Avril-Mai et les plus basses aux mois de décembre et janvier avec des écarts thermiques plus élevés au Nord. Au cours de l'année, la température varie de 9,9 à 32,63°C au nord, de 19,44 à 32,78°C au

planification des activités de conservation. La modélisation de la distribution d'espèces, tout comme les modèles climatiques, peuvent aider à identifier les populations les plus menacées et à déterminer où la conservation des ressources génétiques requiert les mesures les plus urgentes (van Zonneveld *et al.*, 2009a). La présente étude a pour objectif la détermination de l'impact du changement climatique sur les habitats favorables au développement de *P. africana* au Niger à travers une modélisation de sa distribution potentielle à l'horizon 2050 sous trois (3) modèles différents.

sud-est et de 25,84 à 33,57°C au sud-ouest du pays (Laouali *et al.*, 2016). Les principaux types de sols au Niger sont les sols minéraux bruts au Nord; les sols peu évolués qu'on retrouve au sud du Ténéré, à l'ouest et au centre du pays; les sols subarides plus riches en matière organique et plus arrosés que les précédents et qu'on retrouve d'Ouest en Est dans la partie centrale du pays, en zone nord sahélienne; les sols à sesquioxydes de fer, riches en argile gonflante et situés dans la partie méridionale du pays et les vertisols qu'on trouve surtout à l'Est dans la cuvette du lac Tchad (Saadou, 1990).

Collecte des données

Points de présence de l'espèce : Les points de présence (234 dont 203 au Niger et 31 à l'Est du Burkina Faso, au Nord Bénin et au Nord Nigéria) sont ceux utilisés par Laouali *et al.* (2016) pour modéliser la distribution actuelle de l'espèce. Ils sont issus d'une série de relevés botaniques dans différentes régions du Niger et des bases de données du laboratoire Garba Mounkaila de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et du GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) (www.gbif.org), ainsi que des travaux antérieurs (Weber *et al.*, 2008 ; Larwanou *et al.*, 2012) (figure 1).

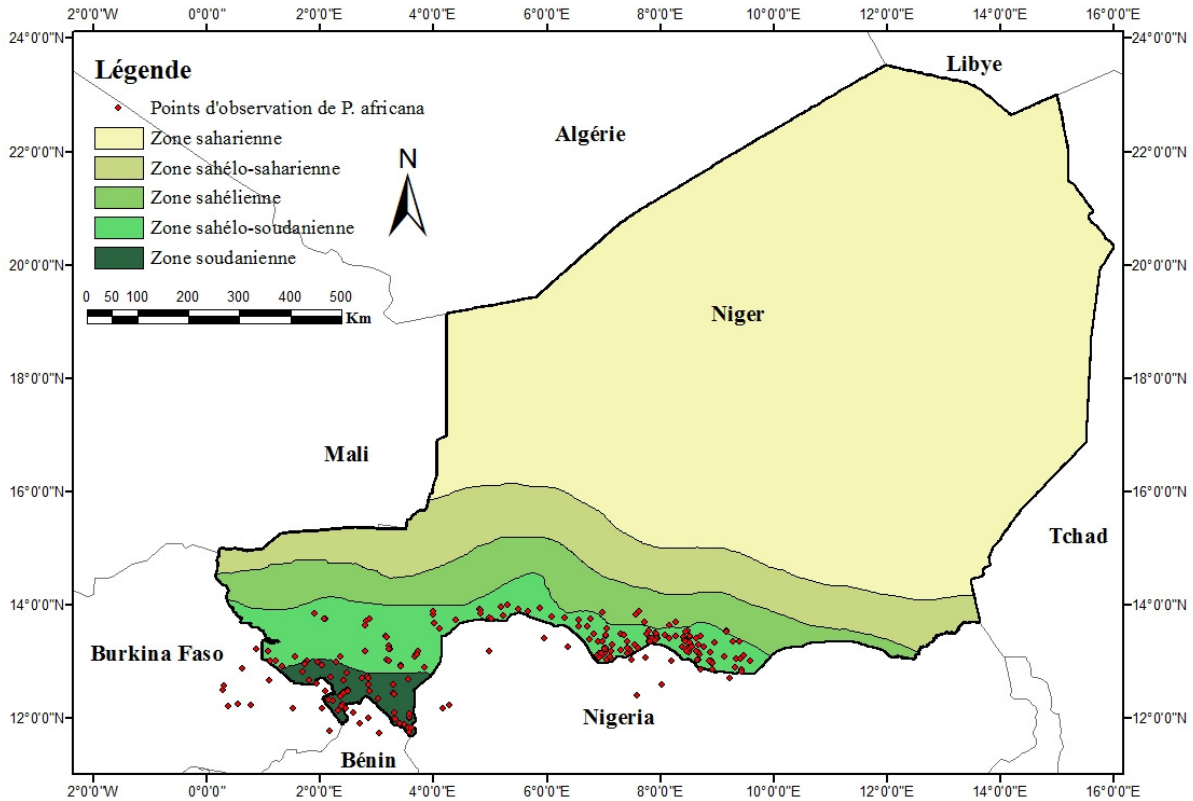


Figure 1 :Points de présence de *P. africana* dans la zone d'étude (Laouali et al., 2016)

Données climatiques : Les aires de distribution potentielle futures sont identifiées à l'aide de couches climatiques fondées sur les projections des modèles de circulation générale (Scheldeman et van Zonneveld, 2012). Deux types de données climatiques (précipitation et température moyennes mensuelles réparties en 19 variables) de 2020 et de 2050 ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Ces données au format raster ASCII avec une résolution spatiale de 2,5 minutes (5 km à l'équateur), ont été téléchargées Data-CCAFS Climate (www.ccafs-climate.org, consulté le 27/04/2020).

Traitement des données : Les aires de distribution potentielle sous le climat actuel (qui règne actuellement au niveau des points de présence) et les aires de distribution potentielle dans des conditions climatiques future de l'espèce ont modélisées et comparées. Pour générer les modèles de la distribution future, MAXENT 3.3.3k. (*Maximum Entropy Modeling*) et QGIS 2.18 ont été utilisés. Le modèle de référence pour la comparaison est celui de la distribution actuelle (1950-2000) de l'espèce dans la même zone proposé par Laouali et al. (2016). Dans le cadre de cette étude, les projections climatiques ont été calculées selon le scénario

d'émissions A2, à l'aide de trois modèles différents : CCCMA (Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis), HadCM3 (Hadley Centre for Coupled Model version 3) et CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). Chaque modèle donne une projection du climat futur légèrement différente (Scheldeman et van Zonneveld, 2012). En effet selon Williams et al., (2007) le scénario d'émission A2 est celui qui prédit une situation plus probable pour l'Afrique. Il décrit un monde très hétérogène, une autosuffisance et préservation des identités locales, une convergence lente des taux de fécondité régionaux se traduisant par une augmentation constante de la population, une orientation régionale du développement économique, une croissance économique par habitant comme le progrès technologique plus fragmentés et plus lents (GIEC, 2001). Les données climatiques téléchargées, au format ASCII (*.asc), sont constitués de 19 variables environnementales dont certaines ont été écartées à l'issue d'un test de corrélation de Pearson. En effet, parmi les variables qui ont un coefficient de corrélation élevé ($|r| > 0,7$, tel que proposé par Dormann et al. (2013), une seule a été retenue sur la

base de son importance écologique pour l'espèce (Laouali *et al.*, 2016) car une forte corrélation entre ces variables introduirait un biais dans le modèle (Warren *et al.*, 2010 ; Dormann *et al.*, 2013). Les variables bioclimatiques retenues sur les 19 sont au nombre de cinq (5). Il s'agit de la BIO3 (Isothermalité = (Amplitude thermique diurne moyenne/Amplitude thermique annuelle) * 100), la BIO9 (Température moyenne du trimestre le plus sec), la BIO10 (Température moyenne du trimestre le plus chaud), la BIO12 (Précipitations annuelles) et la BIO18 (Précipitations du trimestre le plus chaud). La validation croisée, processus d'évaluation de l'efficacité du modèle qui consiste à scinder les données de présence en deux parties pour le calibrage et le test du modèle, et la répétition (trois fois) pour renforcer le

modèle ont été utilisées. Quant à la capacité prédictive du modèle, elle a été évaluée en utilisant le paramètre AUC (*Area Under the Curve*) qui équivaut à la vraisemblance qu'un point de présence choisi au hasard soit situé dans une cellule du raster avec une plus grande probabilité d'occurrence de l'espèce qu'un point d'absence choisi au hasard (Phillips *et al.*, 2006). Ainsi un modèle généré par MAXENT est qualifié d'excellent si $AUC > 0,90$; bon si $0,90 > AUC > 0,80$; acceptable si $0,80 > AUC > 0,70$; mauvais si $0,70 > AUC > 0,60$ et invalide si $0,60 > AUC > 0,50$ (Swets, 1988). La plus faible valeur de l'AUC est de 0,5 correspondant à une prédiction aléatoire, et la plus forte valeur est égale à 1 (Phillips *et al.*, 2006).

RESULTATS

Contribution des variables bioclimatiques et performance du modèle : Pour tous les modèles, la valeur de l'AUC est de 0,99 et les variables BIO10,

BIO12 et BIO3 présentent les plus hauts niveaux de contribution (tableau 1).

Tableau 1. Contributions (%) des variables bioclimatiques utilisées

	CCCMA_2020	HadCM3_2020	CSIRO_2020	CCCMA_2050	HadCM3_2050	CSIRO_2050
BIO3	7,6	6,4	24,4	7,2	21,2	28,7
BIO9	2,1	1	0,7	1,5	1,5	0
BIO10	50,9	50	56,5	49,4	48,7	51,3
BIO12	22,2	24	15,3	22,9	17,4	14,1
BIO18	17,2	18,7	3,1	19	11,3	5,9

Aires de distribution potentielle de *P. africana* au Niger : Selon les modèles, les habitats favorables au développement de *P. africana* au Niger en 2020 et 2050 sont répartis entre les zones sahélienne, sahélo-soudanienne et soudanienne. Les habitats les plus

favorables se répartissent en grande partie entre les zones sahélo-soudanienne et soudanienne, les plus humides du pays. Les habitats moyennement favorables sont situés en grande partie dans la zone sahélo-soudanienne et les habitats peu favorables essentiellement dans la zone sahélienne (figures 2-4).

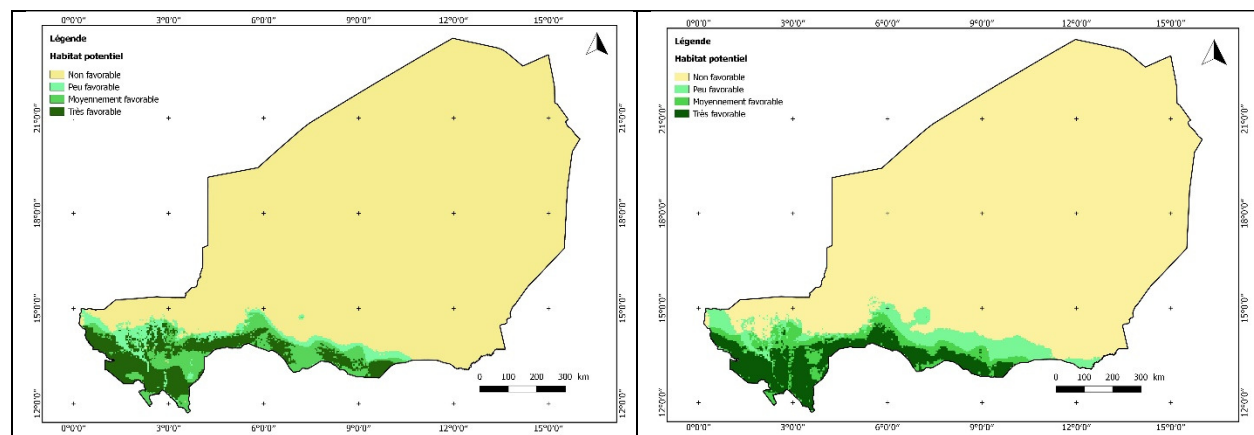


Figure 2 : Aires de distribution de *P. africana* selon le modèle CCCMA 2020 (a) et 2050 (b)

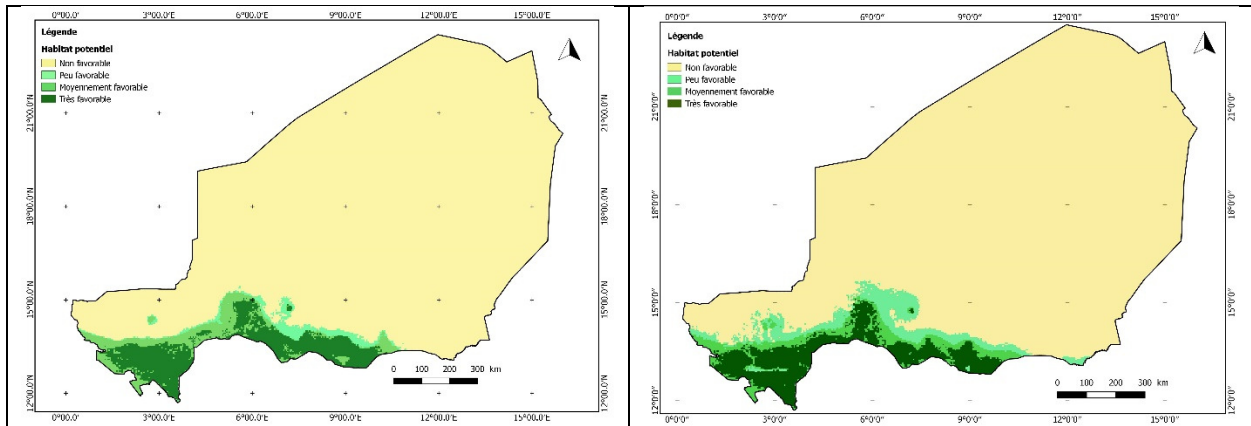


Figure 3 : Aires de distribution de *P. africana* selon le modèle CSIRO 2020 (a) et 2050 (b)

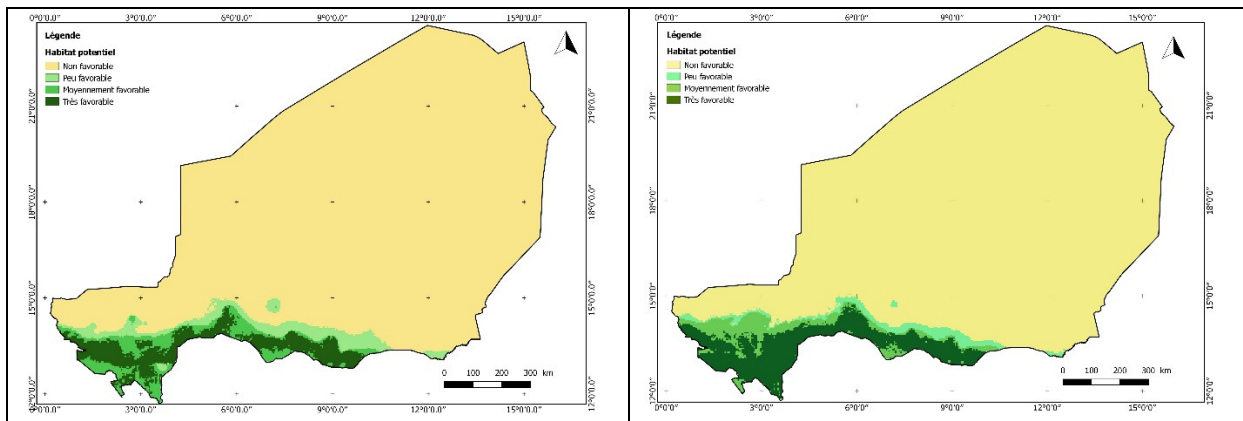


Figure 4 : Aires de distribution de *P. africana* selon le modèle HDCM3 2020 (a) et 2050 (b)

Tous les modèles suggèrent globalement une augmentation des aires de distribution de *P. africana* au Niger par rapport à la distribution suggérée par le modèle 1950-2000. Cette augmentation globale est progressive de 1950-2000 à 2050 en passant par 2020 et est plus favorisée par le modèle CCCMA. Cependant, les habitats moyennement favorables verront leurs superficies diminuer au profit des habitats les plus favorables qui sont surtout concernés par l'augmentation. Les habitats peu favorables vont

également bénéficier d'une augmentation de superficie, sauf au niveau des modèles CSIRO-2020 et HadCM3-2050 où elle sera en baisse. L'augmentation des habitats les plus favorables est plus importante pour les modèles HadCM3-2050 (112,73%), CSIRO-2020 (86,60%) et CSIRO-2050 (83,79%). Le modèle HadCM3-2050 enregistre également la plus forte baisse des habitats moyennement favorables (-34,08%) (tableau 2 ; figure 5).

Tableau 2 : Superficies (km²) prédites par les différents modèles

	Très favorable	M. favorable	Peu favorable	Total
1950-2000	41304,32	57138	30250	128692,32
CCCMA 2020	66926,35	49598,17	31388,52	147913,04
HadCM3 2020	62411,56	41815,53	42546,50	146773,59
CSIRO 2020	77073,87	43793,44	19220,10	140087,41
CCCMA 2050	74859,47	41278,06	58670,74	174808,27
HadCM3 2050	87866,36	37666,23	23670,38	149202,97
CSIRO 2050	75912,93	37816,72	50587,12	164316,77

M. favorable : Moyennement favorable

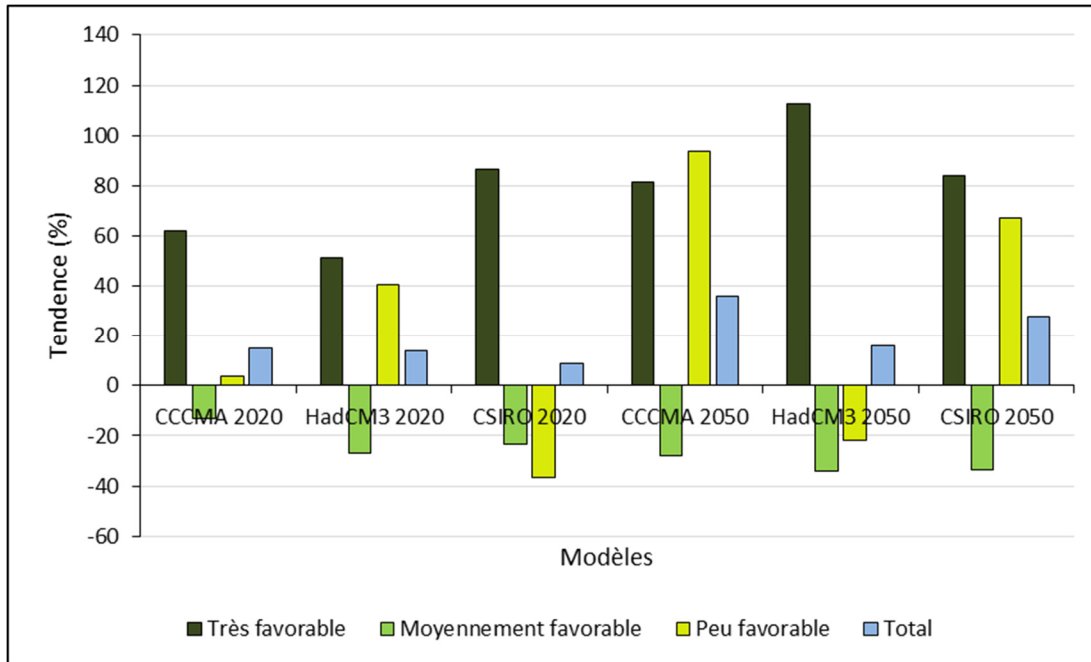


Figure 5 : Tendances prédites par les différents modèles par rapport à la distribution potentielle 1950-2000

DISCUSSION

Pour modéliser l'impact du changement climatique sur les habitats favorables au développement de *P. africana* au Niger, la présente étude s'est basée sur le modèle de la distribution actuelle (1950-2000) de l'espèce proposé par Laouali *et al.* (2016). Tous les modèles suggèrent globalement une augmentation de ses aires de distribution. La valeur de l'AUC (0,99), plus proche de son maximum (1) que de son minimum (0,5, correspondant à une prédiction aléatoire), indique une bonne performance du modèle (Swets, 1988 ; Phillips *et al.*, 2006). Les modèles obtenus suggèrent que *P. africana* est et sera encore plus largement répartie de la zone nord soudanienne à la bande sahélo-soudanienne du pays. Cette zone de distribution est plus étendue que celle suggérée par le modèle de la distribution actuelle de Laouali *et al.* (2016). En effet, les impacts du changement climatique peuvent avoir des répercussions positives ou négatives sur les écosystèmes et les espèces entre autres (GIEC, 2018). Selon Heubes *et al.*, (2011) dans leur étude sur la modélisation de la végétation, d'ici 2050 les biomes auront une évolution vers une tendance écologique en Afrique de l'Ouest, avec une extension du couvert végétal par endroits. Dans la présente étude, les modèles ont été utilisés sous le scénario A2 qui prédit une augmentation de la température et des précipitations dans la zone de l'étude (GIEC, 2001), ce qui pourrait donc expliquer la tendance à la hausse des aires de distribution de *P. africana* dans

cette zone. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Fandohan *et al.* (2013) sur *Tamarindus indica* et Gouwakinnou (2011) sur *Sclerocarya birrea* au Bénin, dans des zones écologiquement proches de celle de la distribution de *P. africana*. Cependant, cette augmentation des précipitations pourrait provoquer une diminution des zones actuellement très favorables à la répartition géographique de *P. africana* à l'horizon 2050 au Bénin (Houetcheqnon, 2016). Cela pourrait s'expliquer par le fait que le Bénin se trouve déjà dans l'intervalle de la pluviométrie favorable au développement de l'espèce et que toute augmentation au-delà de cet intervalle serait défavorable alors qu'au Niger la zone qui serait favorisée par une augmentation de précipitations est actuellement semi-aride. La probabilité de rencontrer l'espèce est plus élevée dans la bande sud et l'extrême sud-ouest du Niger, où les conditions sont plus favorables à son développement. Cette distribution en faveur de cette zone, la plus arrosée du pays, peut donc être liée à la pluviométrie qui est d'ailleurs l'un des principaux facteurs déterminant la distribution de la végétation en zone tropicale (Saadou, 1990 ; Mahamane *et al.*, 2012). La grande contribution au modèle de la température moyenne du trimestre le plus chaud (BIO10), des précipitations annuelles (BIO12) et de l'isothermalité (BIO3) reflète les conditions climatiques réelles de la zone de forte concentration et de la dépendance de l'espèce vis-à-vis des

précipitations et de la température. En effet, selon Weber *et al.* (2008) *P. africana* préfère une pluviométrie annuelle comprise entre 600 et 1500 mm. De même, l'efficacité de ces deux paramètres directs dans la modélisation a été remarquée par plusieurs auteurs (Guisan et Zimmermann, 2000 ; Fandohan *et al.*, 2013 ; Gbesso *et al.*, 2013). Néanmoins, des conditions environnementales favorables pour une espèce dans une zone géographique donnée n'impliquent pas forcément que cette espèce est présente dans la zone car elle peut être détruite par les actions anthropiques (Laouali *et al.*, 2016). En effet, *P. africana* est une espèce soumise à une très forte pression anthropique dans certaines localités du Niger à cause de l'utilisation domestique de son bois et de son importance dans la pharmacopée traditionnelle (Laouali *et al.*, 2014). Cependant, la capacité de ces modèles à prédire l'impact des changements climatiques sur la répartition géographique des espèces reste discutable à cause de leurs limites. Ils permettent certes de mieux comprendre l'écologie et l'évolution possible des espèces étudiées face au réchauffement climatique mais leur comportement réel demeure incertain (Christian *et al.*, 2009). Ces modèles, même ceux qui sont de nature plus mécaniste que statistique, s'appuient sur les aires

actuelles, dont les limites ne sont pas uniquement le résultat d'influences climatiques, ni même stationnelles (incluant substrat géologique, sol, topographie locale) : ces limites peuvent être liées aux possibilités de migration de l'espèce (éloignement des peuplements sources, vitesse de recolonisation), aux limitations d'ordre sanitaire (ravageurs, maladies, grands herbivores), aux exclusions compétitives (une espèce mieux adaptée localement ou plus vigoureuse peut en éliminer une autre), aux actions anthropiques (Dreyfus, 2015). En dépit de ces limitations, les modèles de niche sont considérés comme un outil utile pour établir une première appréciation de l'impact potentiel du changement climatique sur la distribution d'espèces (Pearson et Dawson, 2003). Si les prédictions des modèles de cette étude s'avèrent justes, les menaces de disparition qui pèsent sur *P. africana* au Niger à cause de la surexploitation liée à son importance socioéconomique (Laouali *et al.*, 2014) et du problème de régénération (Laouali *et al.*, 2015) sont limitées. On peut se réjouir également, sur le plan environnemental, de la future augmentation du couvert végétal compte tenu de son rôle contre l'érosion hydrique (Rey *et al.*, 2004) et éolienne (Tidjani, 2008), surtout que le Niger est un pays menacé par la désertification.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

Cette étude a permis de déterminer l'impact potentiel du changement climatique sur les habitats favorables au développement de *P. africana* au Niger. Elle a permis de comprendre, à travers tous les modèles mais surtout le CCCMA qui semble plus favorable à une augmentation globale des aires de distribution, que l'espèce n'est pas menacée mais qu'elle sera plutôt favorisée par les conditions climatiques futures. Les précautions nécessaires à prendre pour sa protection et sa conservation doivent donc être axées sur la limitation

des pressions anthropiques à travers des campagnes de sensibilisation des populations riveraines des différents peuplements actuels. Néanmoins, compte tenu de l'importance socio-économique de cette espèce, des opérations de plantation doivent être envisagées dans tous les habitats nouvellement favorables à son développement pour prévenir le faible pouvoir de régénération qui pourrait induire une lenteur de colonisation de ces milieux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agboola, 2004. *Prosopis africana* (Mimosaceae): stem, roots, and seeds in the economy of the savanna areas of Nigeria. *Economic Botany*, 58, 34-42.
- Ahoton L.E., Adjakpa J.B., M'po Ifonti M., Akpo E.L., 2009. Effet des prétraitements des semences sur la germination de *Prosopis africana* (Guill., Perrot. Et Rich.) Taub., (Césalpiniacées). *Tropicultura*, 27(4), 233-238.
- Akaaimo D.I., Raji A.O., 2006. Some physical and Engineering Proprieties of *Prosopis africana* seed. *Biosystems Engineering*, 95(2), 197-205.
- Arbonnier M., 2000. *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. CIRAD - MNHN - UICN, Montpellier (France).
- Auzel P., Gaonac'h H., Poisson F., Siron R., Calmé S., Belanger M., Bourassa M.M., Kestrup A., Cuerrier A., Downing A., Lavallée C., Pelletier F., Chambers J., A.E, Gagnon, Bedard M.C., Gendreau Y., Gonzalez A., Mitchell M., Whiteley J. et Larocque A., 2012. *Impacts des changements climatiques sur la biodiversité du Québec : Résumé de la revue de littérature*, CSBQ, MDDEP, Ouranos. 29 p.

- Baumer M., 1987. *Agroforesterie et désertification. Le rôle possible de l'agroforesterie dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement*. Wageningen: C.T.A. 260 p.
- Chidumayo E., Okali D., Kowero G. et Larwanou M., 2011. *Forêts, faune sauvage et changement climatique en Afrique*. African Forest Forum, Nairobi, Kenya. 356p.
- Christian P., Vincent P., Jean-Claude G., François L., Romain B. 2009. Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Epicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française, Ecole nationale du génie rural*. LXI (6), 567-593.
- Diop M., Kaya B., Niang A., Olivier A., 2005. *Les espèces ligneuses et leurs usages : les préférences des paysans dans le Cercle de Ségou, au Mali*. ICRAF Working Paper no. 9. Nairobi : World Agroforestry Centre. 29p.
- Dormann C. F., Elith J., Bacher S., Buchmann C., Carl G., Carré G., Marquéz J. R. G., Gruber B., Lafourcade B., Leitão P. J., Münkemüller T., McClean C., Osborne P. E., Reineking B., Schröder B., Skidmore A. K., Zurell D. & Lautenbach S., 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36: 27–46.
- Dreyfus P., 2015. Impact de scénarios de changement climatique sur la distribution des espèces à l'échelle de petits massifs forestiers. *Innovations Agronomiques*, 47, 17-28.
- Fandohan B., Gouwakinnou G.N., Fonton N.H., Sinsin B., Liu J., 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. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 17(3), 450-462.
- F. Rey, J-L. Ballais, A. Marre, G. Rovéra, 2004. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface, *C. R. Geoscience*, 336 (2004) 991–998.
- Gbesso F.H.G., Tente B.H.A., Gouwakinnou N.G., et Sinsin B.A., 2013. Influence des changements climatiques sur la distribution géographique de *Chrysophyllum albidum* G. Don (Sapotaceae) au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 7(5), 2007-2018.
- GIEC, 2001. *Changements climatiques 2001 : Rapport de synthèse*. 216p.
- GIEC, 2007. *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du GIEC*. GIEC, Genève, Suisse. 103 p.
- GIEC, 2018. *Résumé à l'intention des décideurs, réchauffement planétaire de 1,5 °C*. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 32 p.
- Gouwakinnou N.G., 2011. Population ecology, uses and conservation of *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hochst. (Anacardiaceae) in Benin, West Africa. PhD Thesis, University of Abomey Calavi, Abomey-Calavi, p. 176.
- Guisan A., Zimmermann N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modell.*, 135, 147-186.
- Heubes J., Kühn I., König K., Wittig R., Zizka G., Hahn K., 2011. Modelling biome shifts and tree cover change for 2050 in West Africa. *Journal of Biogeography*, 38: 2248-2258. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2011.02560.x.
- Houetchegnon T.O., 2016. Etudes ethnobotanique, écologique et morphologique de *prosopis africana* (Guill., Perrott. Et Rich.) Taubert au Bénin et impacts des changements climatiques sur l'espèce. Thèse de Doctorat Unique pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques. Université de Parakou, Bénin. 175p.
- Laouali A., Abdoulaye D., Maman Maârouhi I., Boubacar M.M., Salamatou A.I., Ali M., 2016. Modeling the Geographic Distribution of *Prosopis africana* (G. and Perr.) Taub. in Niger. *Environment and Natural Resources Research*; 6(2), 136-144. <http://dx.doi.org/10.5539/enrr.v6n2p136>
- Laouali A., Dan Guimbo I., Larwanou M., Inoussa M.M. et Mahamane A., 2014. Utilisation de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub. dans le sud du département d'Aguié au Niger : les différentes formes et leur importance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8(3), 1065-1074.
- Laouali A., Dan Guimbo I., Youchaou Tawaye A., Rabiou H. et Mahamane A., 2015. Etude de la germination de la graine et suivi de la croissance en pépinière de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub., espèce menacée de disparition au Niger. *Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey*. Tome XVIII-A, 1-12.

- Larwanou M., 1994. *Potentials of Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub leaf litter for soil nutrient enhancement and crop development. M.Sc thesis. Department of Forest resources Management, University of Ibadan, 95p.
- Larwanou M., Moustapha A.M., Rabé M.L. et Dan Guimbo I., 2012. Contribution de la Régénération Naturelle Assistée des ligneux dans l'approvisionnement en bois des ménages dans le département de Magaria (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6(1), 24-36.
- Larwanou M., Oumarou I., Laura S., Dan Guimbo I., Eyog-Matig O., 2010. Pratiques sylvicoles et culturales dans les parcs agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. *Tropicultura*, 28(2), 115-122.
- Mahamane A., Morou B., Zaman-Allah M., Saadou M., Saley K., Bakasso Y., Wata I. S., Oumani A. A. Jauffret S., 2012. Climate Variability in Niger: Potential Impacts on vegetation distribution and productivity. *Journal of Environmental Science and Engineering*, B1, 49-57.
- Maydell H.J.V., 1983. *Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations*. Eschborn (Allemagne) G.T.Z., Schriftenreihe, 254p.
- Niang-Diop F., Sambou B., Lykke A.M., 2010. Contraintes de régénération naturelle de *Prosopis africana* : facteurs affectant la germination des graines. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(5), 1693-1705.
- Ouoba A.P., 2013. Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè. Thèse de doctorat unique de géographie. Université de Ouagadougou. Ecole doctorale lettres, sciences humaines et communication. Laboratoire Dynamiques des Espaces et Sociétés. 305p.
- Pearson R.G. & Dawson T.P., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12:361–371.
- Ozer P., Hountondji Y-C., Niang A.J., Karimoune S., Laminou Manzo O., Salmon M., 2010. Désertification au Sahel : historique et perspectives. *BSGLg*, 54, 69-84.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapired R.E., 2006. Maximum Entropy Modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- Priso R.J., Nnanga J.F., Etame J., Din N., Amougou A., 2011. Les produits forestiers non ligneux d'origine végétale : valeur et importance dans quelques marchés de la région du Littoral - Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 40, 2715-2726.
- Saadou M, 1990. La végétation des milieux drainés nigériens à l'Est du fleuve Niger : Thèse de Doctorat ès - Sciences Naturelles. Université de Niamey. 395 p.
- Saliou A.R.A., Oumorou M., Sinsin B.A., 2015. 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)*, 70 (4), 342-353.
- Scheldeman X. et Van Zonneveld M., 2012. *Manuel de formation à l'analyse spatiale de la diversité et de la distribution des plantes*. Bioversity International, Rome, Italie. 186 pp.
- Swets J.A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285-1293.
- Sylvestre D., Omonlola N.W., Safiétou S., Kangbéni D., Benewindé J.B.Z., 2017. Etat de l'art sur la vulnérabilité des écosystèmes et des populations aux changements climatiques en Afrique de l'ouest : une revue bibliographique et cartographique. Centre de compétence WASCAL. 70p.
- Tidjani A.D., 2008. Erosion éolienne dans le Damagaram Est (Sud-Est du Niger) : Paramétrisation, quantification et moyens de lutte. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. Université catholique de Louvain, Faculté d'Ingénierie Biologique, Agronomique et Environnementale, Département des Sciences du Milieu et de l'Aménagement du Territoire, 193 p.
- van Zonneveld M, Koskela J, Vinceti B, Jarvis A., 2009a. Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia. *Unasylva*, 60 (231/232):24-28.
- Warren D.L., Glor R.E. & Turelli M., 2010. ENMtools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, 33, 607-611.
- Weber J.C., Larwanou M., Abasse T.A., Kalinganire A., 2008. Growth and survival of *Prosopis africana*

provenances tested in Niger and related to rainfall gradients in the West African Sahel. *Forest Ecology and Management*, 256, 585-592.

Zakari S, Arouna O., Toko Imorou I., Yabi I, Tente B.A.H., 2017. 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. *Afrique SCIENCE* 13(3), 1-14.