

Démographie et distribution des espèces fruitières sauvages à usages multiples : cas de *Tamarindus indica* L. dans les zones Sud-Ouest du Niger

**Amadou GARBA^{1*}, Laouali ABDOU², Abdoul kader Soumaila SINA¹,
Abdallah MAMADOU BOUREIMA³ et Ali MAHAMANE²**

¹ *Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, Laboratoire GARBA Mounkaila, BP 1066, Niamey, Niger*

² *Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques, BP 78, Diffa, Niger*

³ *Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, BP 465 Maradi, Niger*

* Correspondance, courriel : garbaamadou10@yahoo.fr

Résumé

La conservation et la gestion durable des espèces menacées de disparition nécessite la connaissance de leurs aires de distribution potentielles et des facteurs environnementaux qui influencent cette distribution. L'objectif de la présente étude est de cartographier la distribution du tamarinier dans les habitats favorables à sa conservation au Niger. L'approche méthodologique basée sur la collecte des points de présence de l'espèce et les variables bioclimatiques a été utilisée pour modéliser la distribution géographique du tamarinier. Le programmes MAXENT 3.3.3k, DIVA-GIS 7.5 et ArcGIS 10.5 sur le principe de l'entropie maximale a été servi de base. La valeur de l'aire sous la courbe (AUC) est supérieure à 0,90. Ce qui prouve que le modèle de distribution prédit par le programme MaxEnt est d'une excellente qualité. Il prévoit la distribution favorable du tamarinier dans la zone sahélo-soudanienne et soudanienne du Niger. Le test de Jackknife montre que la variable la plus significative, qui contribue beaucoup plus au gain du modèle est la précipitation annuelle (BIO12), avec une valeur de 62,6 %. Trois modèles climatiques ont été utilisés sous le scénario A2 pour la prédiction de l'impact des changements climatiques sur de la distribution de l'espèce à l'horizon 2050 (les modèles CCCMA, HadCM3 et CSIRO). Les projections des trois modèles prévoient que les conditions environnementales futures seront globalement propices à la distribution des habitats très favorables à la conservation de l'espèce. Cependant, l'incertitude liée aux résultats de la modélisation et quelle ne prend pas en compte des facteurs comme la dynamique d'occupation des terres liée à la croissance démographique. Néanmoins, ces résultats pourront aider à la prise de décisions relatives à la conservation des espèces fruitières alimentaires d'importance socioéconomique.

Mots-clés : *modélisation, changements climatiques, distribution, tamarinier, urbanisation, Niger.*

Abstract

Demography and distribution of wild multipurpose fruit species: A case of *Tamarindus indica* L. in south-western areas of Niger

The conservation and sustainable management of endangered species requires knowledge of their potential distribution areas and the environmental factors that influence this distribution. The objective of this study

was to map the distribution of the tamarind tree in habitats favourable to its conservation in Niger. The methodological approach based on collecting the points of presence of the species and the bioclimatic variables were used to model the geographical distribution of the tamarind tree. The MAXENT 3.3.3k, DIVA-GIS 7.5 and ArcGIS 10.5 programs on the principle of maximum entropy were used as a basis. The value of the area under the curve (AUC) is greater than 0.90. This proves that the distribution model predicted by the Maxent program is of excellent quality. It predicts the favorable distribution of the tamarind tree in the Sahelo-Sudanian and Sudanese zone of Niger. The Jackknife test shows that the most significant variable, which contributes much more to the gain of the model is the annual precipitation (BIO12), with a value of 62.6 %. Three climate models were used under scenario A2 to predict the impact of climate change on the distribution of the species by 2050 (the CCCMA, HadCM3 and CSIRO models). The projections of the three models predict that future environmental conditions will be generally favourable to the distribution of habitats very favourable to the conservation of the species. However, the uncertainty associated with the modeling results and which does not take into account factors such as land use dynamics linked to population growth. Nonetheless, these results may help in decision-making relating to the conservation of food fruit species of socio-economic importance.

Keywords : *modeling, climate change, distribution, Tamarind, urbanization, Niger.*

1. Introduction

Au sahel, les variabilités climatiques façonnent la structure de la végétation ligneuse. Cette réponse écologique aux changements climatique, est perçue comme la plus grande menace planétaire sur l'intégrité des écosystèmes mais aussi la survie de la biodiversité animale et végétale. De façon général, en Afrique, 25 à 42 % des espèces végétales pourraient être menacés d'extinction du fait d'une perte de 81 à 97 % des habitats favorables d'ici à 2082 [1, 2] Selon les projections sur l'évolution du climat, ce seraient entre 20 à 30 % des espèces animales et végétales qui feront face à un plus grand risque d'extinction si le réchauffement global excède 1,5 °C à 2,5 °C en Afrique [2 - 4]. La croissance rapide et continue de la population, ainsi que les mauvaises conditions pluviométriques ont entraîné au sahel en particulier une dégradation des ressources forestières [5], qui constituent le poumon économique des populations des milieux ruraux. Cette dégradation se caractérise par une réduction accélérée du couvert végétal arboré et arbustif ayant pour conséquences une baisse de la fertilité des sols, une accentuation de l'érosion hydrique et éolienne, une rareté d'approvisionnement en bois de feu et d'énergie [6, 7]. Les menaces de type anthropique ont ainsi entraîné la réduction des aires géographiques favorables à certaines espèces forestières et l'amenuisement de la disponibilité de leurs habitats. Ce sombre tableau risque de compliquer la tâche aux conservateurs et gestionnaires des ressources forestières, qui ont la mission difficile d'œuvrer souvent avec des données limitées pour restaurer et gérer durablement les écosystèmes forestiers [8]. Le Niger, où la disparition des ressources forestières résulte des conséquences de l'aridité du climat et de la vitesse vertigineuse du phénomène d'urbanisation, caractérisé par la conquête d'espaces, à travers la déforestation et le déboisement au profit de l'agriculture, ne fait pas exception à cette impérieuse nécessité de gestion à la fois rigoureuse, responsable et visionnaire des écosystèmes, patrimoines indispensables à la pérennité de la biodiversité. L'exploitation des ressources forestières à travers cette déforestation a conduit à la réduction et à la disparition d'un nombre important d'essences forestières, qui, aujourd'hui, sont profondément et naturellement intégrées dans les stratégies de subsistance des populations. Ces espèces procurent un large éventail de services environnementaux et des produits forestiers ligneux ou non ligneux à des millions de personnes, et sont finalement à la base des économies locales [8 - 11]. C'est tout simplement un secret de polichinelle d'affirmer que l'exploitation des ressources forestières se traduit par

un véritable écrémage génétique au sein des peuplements de plusieurs espèces. On assiste en conséquence à un appauvrissement progressif du peuplement de certaines essences forestières d'importance socioéconomique et de grande utilité à plusieurs dimensions pour les communautés. Au rang de ces ressources forestières figure le tamarinier (*Tamarindus indica* L.), une légumineuse de la famille de Fabaceae-Detarioideae et d'une importance socioéconomique indiscutable pour les populations des différentes communautés du Niger. Des études récentes ont montré que toutes ses parties (feuilles, racines, écorces, fruits, gomme, bois, fleurs, etc.) sont exploitées quotidiennement par les populations [12] ; les usages interviennent dans plusieurs domaines (alimentaire, thérapeutique, énergétique, industriel etc.). Autrefois abondante, la densité de la population de l'espèce s'avère aujourd'hui complètement réduite à l'échelle du pays. Le déclin accentué au cours de ces dernières décennies, en raison surtout des facteurs climatiques (sécheresses répétitives, fortes températures etc.) et anthropiques (surexploitation, déboisement, déforestation, feux de brousse, avancée du front agricole, etc.) demeure un motif suffisant de contrôle national pour inverser la tendance qui n'a fait que trop durer. La gestion durable du peuplement du tamarinier dans un contexte de changement climatique et de forte anthropisation nécessite :

- ✓ la connaissance de l'aire de distribution à l'échelle du pays ;
- ✓ les zones favorables à sa conservation ;
- ✓ et les facteurs environnementaux qui peuvent affecter sa répartition géographique.

La détermination des zones géographiques favorables à la conservation du tamarinier dans un environnement aride et semi-aride consiste à prédire sa distribution future. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'étudier la gamme des conditions environnementales qui convient à l'espèce [13] et de procéder sur cette base [14] à la modélisation de sa distribution potentielle. Des techniques statistiques plus récentes et des systèmes d'informations géographiques permettent d'envisager des modèles de distribution beaucoup plus satisfaisants [15]. Somme toute, la démarche consiste à construire une fonction de paramètres environnementaux qui prédit la probabilité de présence de l'espèce. La Modélisation de la Distribution des Espèces (Species Distribution Modeling) représente un outil important de prédiction en écologie de la conservation [8, 16 - 18]. Parmi les modèles envisageables se trouvent ceux de Maximum d'Entropie (MaxEnt), [19]. Dans un contexte de variabilité climatique et de forte croissance démographique, la présente étude s'est fixé comme objectif la maîtrise de la distribution actuelle du tamarinier et des habitats favorables à sa conservation au Niger.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

Afin de couvrir le maximum du territoire, la présente étude a concerné trois (03) zones agro-écologiques du pays, à savoir (1) la zone sahélienne de pluviométrie moyenne comprise entre 300 et 400 mm, (2) la zone sahélo-soudanienne de pluviométrie moyenne comprise entre 400 et 600 mm, (3) la zone soudanienne de pluviométrie annuelle supérieure à 600 mm. Ces espaces géographiques représentent au total 16 % de la superficie du pays. Le climat y est semi-aride avec une végétation correspondant aux savanes arbustives ou arborées. C'est une zone à fortes potentialités agricoles, de type tantôt pluvial, tantôt irrigué. Or les activités agricoles tributaires des conditions climatiques restent aujourd'hui perturbées par les changements climatiques. La diversité floristique, soumise aux pressions anthropiques croissantes, se dégrade de jour en jour, remplacée par des espèces envahissantes tant dans les écosystèmes terrestres (ex : *Prosopis juliflora*) que dans ceux dits aquatiques (ex : *Typha australis*).

2-2. Collecte des points d'occurrence

A travers les campagnes de relevés floristiques, les coordonnées des points de présence de l'espèce ont été recueillies au moyen d'un GPS (Global Positioning System), dans des communes des différentes régions du pays. D'autres points de présence ont été également obtenus à partir du site de GBIF (Global Biodiversity Information Facility). GBIF est un réseau international et une institution de recherche financée par les gouvernements du monde entier. Cette méthode relevant d'une technologie de pointe vise à fournir à n'importe qui, n'importe où, un accès ouvert aux données sur tous les types de vie sur Terre. Le site (<https://www.gbif.org>) est accessible et ouvert à tous. L'ensemble des coordonnées recueillies ont permis de reconstituer une base des données sur le tamarinier au Niger. Au total, 220 points de présence du tamarinier ont été obtenus dont 114 sont issus du site de GBIF et les 106 restant sont ceux des différents relevés effectués à l'échelle du pays. Ces informations ont été enrichies et complétées par celles obtenues au Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de la Salubrité Urbaine (MEDD/SU). Pour déterminer la distribution potentielle d'une espèce, il est indispensable de connaître la gamme de conditions environnementales qui lui conviennent [20].

2-3. Variables bioclimatiques

Dix-neuf (19) variables bioclimatiques (*Tableau 1*) ont été extraites à partir de la base des données de Worldclim (Global Climate data. (<http://www.worldclim.org>), qui est un catalogue à l'échelle mondiale de données de températures et de pluviométries. Lesdites données sont recueillies à une résolution de 2,5 arc-minutes au sol [14, 21], sans compter qu'elles sont considérées comme les plus directement reliées aux aspects physiologiques de la croissance des plantes [8]. Qui plus est, appelées aussi données d'interpolations, elles regroupent plus de 20000 stations météorologiques couvrant les cinq (5) continents [22].

Tableau 1 : Variables bioclimatiques utilisées pour modéliser la distribution de *T. indica*

Codes	Variables environnementales
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
BIO4	Saisonnalité de la température (écart-type*100)
BIO5	Température maximale du mois le plus chaud
BIO6	Température maximale du mois le plus froid
BIO7	Variation annuelle de température
BIO8	Température moyenne du trimestre le plus humide
BIO9	Température moyenne du trimestre le plus sec
BIO10	Température moyenne du trimestre le plus chaud
BIO 11	Température moyenne du trimestre le plus froid
BIO12	Précipitations annuelles
Bio13	Précipitations du mois le plus humide
BIO14	Précipitations du mois le plus sec
BIO15	Saisonnalité de la précipitation (coefficient de variation)
BIO16	Précipitations du trimestre le plus humide
BIO 17	Précipitations du trimestre le plus sec
BIO18	Précipitations du trimestre le plus chaud
BIO19	Précipitations du trimestre le plus froid

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

2-4. Traitement et analyse des données

2-4-1. Modélisation de la distribution

Pour réaliser le modèle, il a été fait recours à l'approche basée sur l'Entropie Maximale via un programme Java indépendant, relevant de l'intelligence artificielle, appelé MaxEnt (Maximum Entropy Modeling), dans sa version 3.3.3k [19]. Ce programme constitue l'une des meilleures méthodes qui ait été largement utilisée pour modéliser la distribution des niches écologiques des espèces [2, 8, 14, 23, 24]. Mieux encore, avant d'effectuer la modélisation, les variables bioclimatiques extraites de la base des données worldclim ont été soumises à un test de corrélation, en vue de sélectionner les moins corrélées ($r < 0,80$) [25]. Dans cette étude, cinq (05) variables bioclimatique ont été retenues compte tenu de leur faible corrélation (**Tableau 2**) pour tourner le modèle [24]. Enfin, dans le cadre de la détermination des variables qui ont contribué plus à la modélisation, la méthode requise réside dans le test de Jackknife.

Tableau 2 : Variables bioclimatiques retenues

Codes	variables environnementales
BIO3	Isothermalité
BIO9	Température moyenne du trimestre le plus sec
BIO10	Température moyenne du trimestre le plus chaud
BIO12	Précipitations annuelles
BIO18	Précipitations du trimestre le plus chaud

2-4-2. Cartographie des points de présence et des aires de distribution

Les points d'occurrence, ainsi que les résultats de la modélisation de MaxEnt (image raster) ont été importés dans le logiciel QGIS 2.18 pour cartographier la distribution de l'espèce et spatialiser les différents habitats favorables à sa conservation au Niger. Cet outil a permis également de déterminer la superficie de chaque habitat et sa proportion par rapport à la superficie du territoire national.

3. Résultats

3-1. Points de présence du tamarinier à l'échelle du pays

La **Figure 1** ci-dessous illustre la présence du tamarinier à l'échelle des zones agro-écologiques du Niger. Les résultats d'étude dont elle est porteuse montrent que la présence de l'espèce diminue au fur et à mesure qu'on quitte du sud vers le nord du pays.

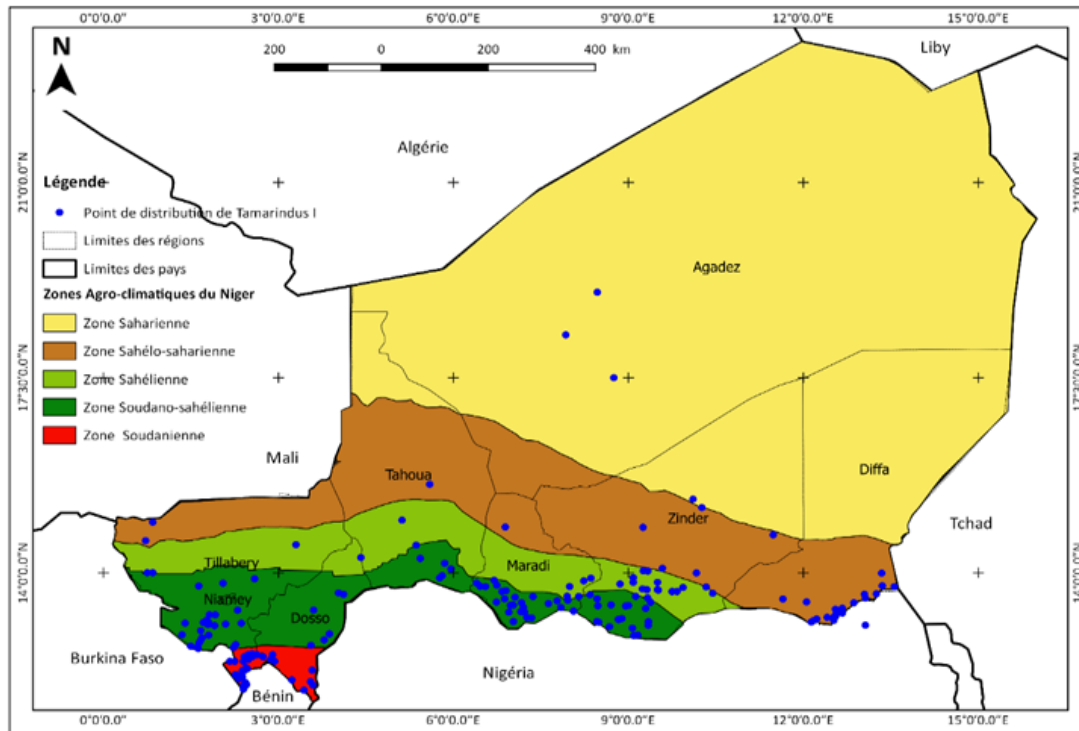


Figure 1 : Distribution du tamarinier au Niger

3-2. Qualité du modèle et contribution des variables

Les résultats de la **Figure 2** montrent que les valeurs de l'Aire Sous la Courbe (AUC) pour la mise en œuvre et le test du modèle MaxEnt, sont respectivement de 0,943 et 0,911. Ceci atteste que le modèle de distribution prédit par l'algorithme MaxEnt est excellent avec une marge d'erreur de (0,5 %).

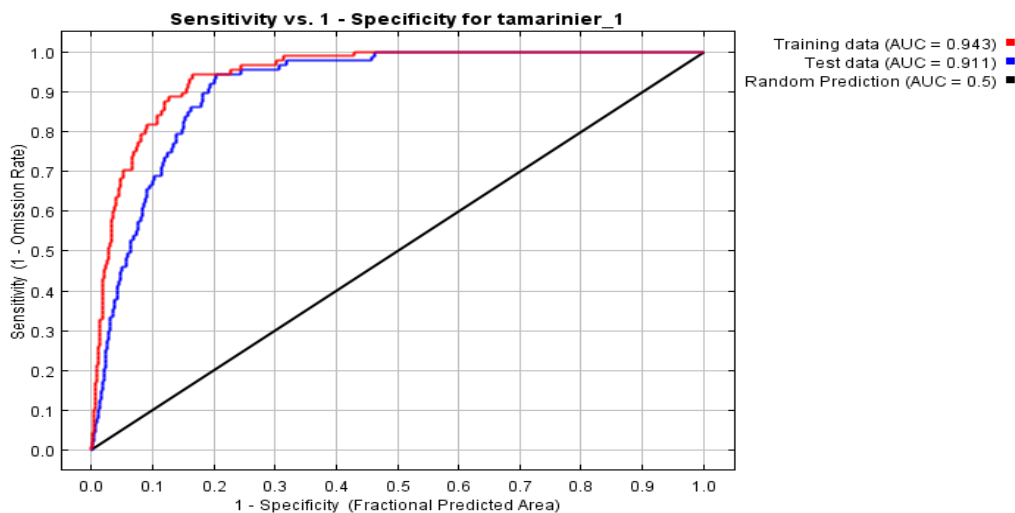


Figure 2 : Valeur de l'Aire Sous la Courbe (AUC)

L'analyse des pourcentages de contribution des différentes variables du modèle révèle que les précipitations annuelles (BIO12), le Ratio de l'amplitude thermique journalière sur l'amplitude thermique annuelle (BIO3) et la température moyenne du trimestre le plus chaud (Bio10) sont les variables qui ont contribué le plus au modèle (**Figure 3**). Leurs pourcentages de contribution sont respectivement 62,5 %, 12,5 % et 25 %.

16,1 % et 12,7 %. Les autres variables n'ont contribué que très faiblement. Une autre statistique qui fait également connaître la contribution des variables dans le modèle se trouve, bien entendu, l'importance de la permutation. Une valeur élevée de ce paramètre statistique prouve une grande importance de la variable concernée. La permutation de la BIO3 entraîne une très faible réduction du pouvoir prédictif du modèle (2,3 %), autrement dit, BIO3 a une très faible incidence sur le modèle. Par contre, la permutation de la BIO12 entraîne une très forte réduction du pouvoir prédictif du modèle (81 %). Le test de Jackknife (*Figure 4*) montre aussi que la BIO12 est le prédicateur environnemental qui présente le meilleur gain. Elle semble à ce titre avoir l'information la plus utile et la plus performante, lorsqu'elle est utilisée isolement dans le modèle.

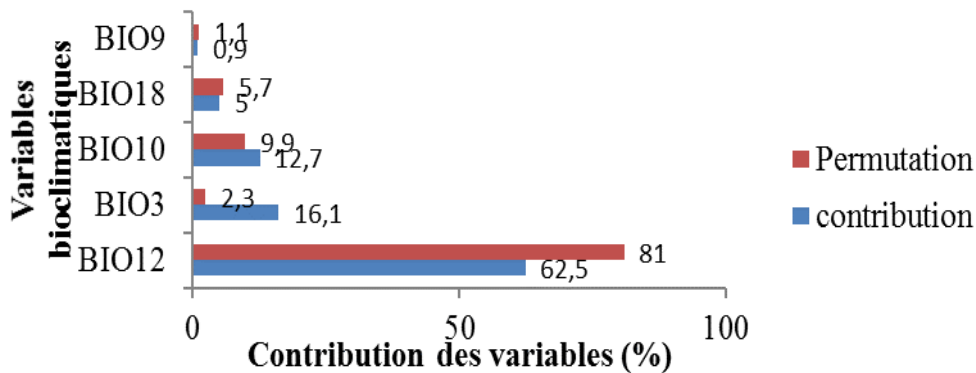


Figure 3 : Contribution et importance de la permutation des variables dans le modèle

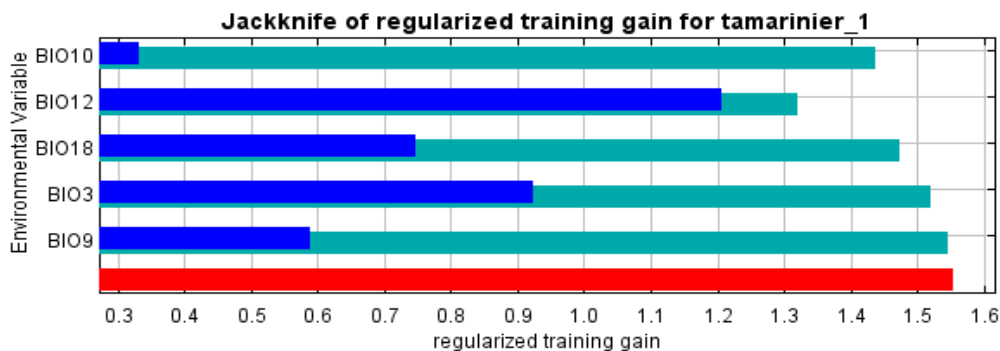


Figure 4 : Résultats du test Jackknife sur la contribution des variables bioclimatiques

3-3. Impact des changements climatiques sur l'étendue des aires de distribution et de conservation future du tamarinier au Niger

Le *Tableau 3* présente la variation des superficies des habitats favorables à la conservation future du tamarinier au Niger à l'horizon 2050 et la *Figure 5* présente la carte de spatialisation de ces habitats, selon les modèles CCCMA, HadCM3 et CSIRO. Les résultats du *Tableau 3* montrent à ce sujet que tous les trois modèles prévoient une augmentation de la superficie de l'habitat très favorable à la conservation du tamarinier au Niger à l'horizon 2050. L'augmentation prévue serait respectivement de + 59,39 % pour le modèle CCCMA, +841,95% pour le modèle HadCM3 et + 1143,75 % pour le modèle CSIRO. Enfin, concernant l'habitat moyennement favorable, les modèles prévoient au contraire une diminution de sa superficie. L'aire de cet habitat diminuerait respectivement de -24,78 % selon le modèle CCCMA, de -8,96 % selon le modèle HadCM3 et de -53,09 selon le modèle CSIRO. Les modèles CCCMA et HadCM3 prévoient des augmentations respectives de + 13,57 % et + 4,98 de la superficie de l'habitat peu favorable ; par contre, le modèle CSIRO prévoit une diminution de sa superficie de -25,75 %.

Tableau 3 : Variation des superficies des habitats favorables à la distribution et à la conservation du tamarinier au Niger à l'horizon 2050

Scenarii	Habitat très favorable		Habitat moyennement favorable		Habitat peu favorable	
	Superficie(Km2)	Tendance (%)	Superficie (Km2)	Tendance (%)	Superficie(Km2)	Tendance (%)
Présent	47144,021	-	72387,61	-	91904,9	-
CCCMA	75140,8	+ 59,39	54451,25	- 24,78	104371,97	+ 13,57
HadM3	444072,59	+ 841,95	65903,83	- 8,96	96482,4	+ 4,98
CSIRO	586352,79	+ 1143,75	33957,57	- 53,09	68237,67	- 25,75

CCCMA (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis); HADCM3 (Hadley Centre for Climate prediction and Research, Met Office, United Kingdom); CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)

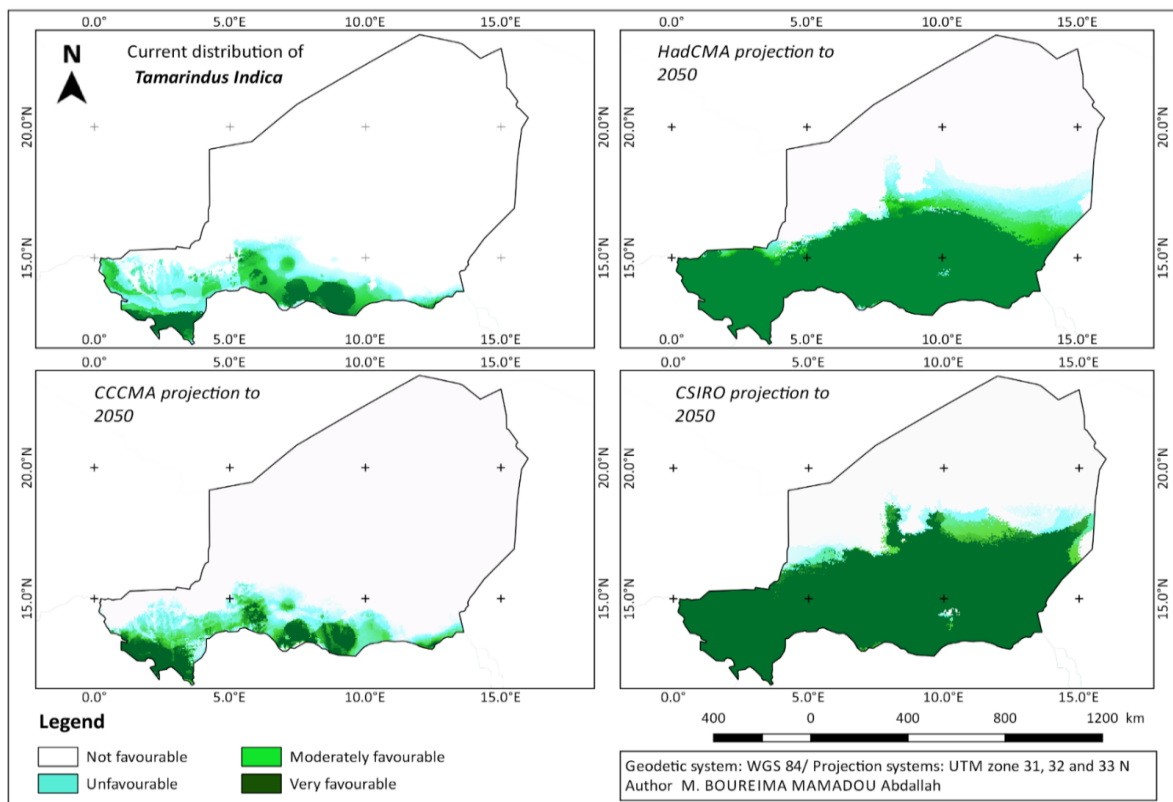


Figure 5 : Spatialisation des aires favorables à la conservation du tamarinier au Niger, selon les modèles CCCMA, HadCM3 et CSIRO à l'horizon 2050

4. Discussion

Aujourd'hui, l'habitat de plusieurs espèces est menacé, du fait de l'intensification des activités humaines, telles que l'agriculture itinérante sur brûlis, l'exploitation forestière, l'élevage de transhumance et l'urbanisation [29, 30]. L'impact de ces actions, sur l'habitat de la biodiversité se trouve par ailleurs accentué par les effets également dévastateurs des changements climatiques. Face à ces menaces climatiques extrêmement grave, plusieurs réactions, non exclusives, sont envisageables en raison de survie et de pérennisation des espèces végétales Parmi les plus probables, les auteurs citent notamment la

migration des populations vers des sites plus favorables, leur extinction sur des sites devenus défavorables et leur adaptation génétique [31 - 33]. La connaissance des propriétés spécifiques de ces changements susceptibles d'avoir un impact sur les espèces ou leurs habitats constitue un élément central des stratégies d'adaptation [2, 34]. Les informations relatives à l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition géographique des habitats favorables à ces espèces s'avèrent importantes pour connaître les zones propices à leur conservation dans le futur, afin de mieux planifier les actions de gestion les concernant [30]. C'est dans ce sens justement que le modèle de l'algorithme MaxEnt, utilisé pour prédire les aires favorables à la conservation du tamarinier au Niger, a été évalué à travers l'Aire sous la courbe (AUC). La valeur de l'AUC, supérieure à 0,90, témoigne de la bonne capacité du modèle à prédire la distribution de l'espèce [35]. Le modèle prévoit que les habitats les plus favorables à la conservation de l'espèce se situent dans la zone sahélo-soudanienne et soudanienne du pays. Ces zones se caractérisent par une pluviométrie annuelle comprise entre 400 à 600 mm. Les données objectives ainsi recueillies justifient la contribution importante de la variable BIO12 (62,5 %). La distribution du tamarinier est donc fortement influencée par la pluviométrie, au vu des résultats évoqués tantôt et conformes à ceux obtenus par [2] sur le tamarinier au Bénin, autant que [24] sur *Prosopis africana* au Niger.

La préservation du *Tamarindus indica* L. s'inscrit certes, dans la dynamique des projets techniques pour la sauvegarde des patrimoines forestiers mais suppose aussi qu'un accent particulier doit être mis sur les initiatives de contrôle relatives aux conditions d'existence ou d'exploitation de l'espèce. Dans cet esprit, l'impact des changements climatiques sur l'étendue des différents habitats favorables à la distribution et à la conservation future du tamarinier a été déterminé à travers l'usage des trois modèles (CCCMA, HadCM3, CSIRO). Tous ces modèles prévoient une augmentation de la superficie de l'habitat très favorable à la distribution et à la conservation future du tamarinier au Niger. L'aire de distribution et de conservation future de l'espèce correspond à la zone soudanienne, c'est-à-dire la partie sud du pays qui est en réalité, la plus arrosée, étant donné qu'elle est définie par une pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 600 mm par an, mais ne représente que 1 % de la superficie du territoire national. Encore une fois, la description de la relation entre la pluviométrie et les zones de distribution du tamarinier met en exergue l'influence de la précipitation sur le milieu de prédilection de l'espèce. A cet effet, la variable bioclimatique BIO12 (précipitations annuelles) est celle ayant le plus contribué à la prédiction des habitats favorables à la conservation de l'espèce. La délicatesse des questions climatiques et leur impact sur la vie nécessite que l'on tienne compte de tous les paramètres, qu'ils soient optimistes ou pessimistes.

A ce titre, contrairement aux résultats invoqués ci-haut, ceux des projections sur les trois modèles climatiques obtenus sur le tamarinier par [40] au Sénégal et [2] au Bénin prévoient une diminution significative des zones propices au développement du tamarinier. Selon les auteurs de telles études, la situation décrite dans leurs conclusions serait liée aux prévisions climatiques qui font entrevoir une augmentation des températures et/ou une diminution des précipitations. Ils suggèrent que les températures en Afrique de l'ouest augmenteraient de 2 à 6° C d'ici à 2100 [1, 41]. Les modèles de prédiction de la pluviométrie estiment une possibilité de modification entre une diminution d'environ 20 % et une augmentation d'environ 20 % d'ici 2100 [41, 42]. Les variations des températures et des précipitations pourraient avoir de répercussions néfastes sur la physiologie des individus, sur la régénération et la dynamique des populations de l'espèce [2]. Les projections des modèles CCCMA, CSIRO et HadCM3 prévoient objectivement une diminution de la superficie de l'habitat moyennement favorable à la conservation de l'espèce à l'horizon 2050. Cette aire de distribution correspond au domaine de la zone sahélienne. Les précipitations, qui impactent la distribution de l'espèce, ont été aujourd'hui fortement influencées par les changements climatiques dans cette zone. Elles varient respectivement de 300 à 400 mm/ans. Ces résultats justifient la régression de plus en plus croissante de la densité de l'espèce dans ces zones au Niger. A cet

effet, il est démontré d'ailleurs que les fluctuations des variables climatiques, telles que les précipitations et la température, auront une incidence sur la diversité biologique et sur la répartition géographique des habitats favorables aux espèces [3]. De tels résultats corroborent ceux obtenus par [41] sur les effets du changement climatique (élévation des températures et baisse de la pluviométrie) dans la zone sahélienne.

5. Conclusion

La modélisation de la distribution des espèces reste un moyen pertinent pour définir l'étendue géographique des aires favorables à leur conservation et pour identifier les variables environnementales qui affectent leur distribution. La carte des aires potentielles du tamarinier, déterminée dans le cadre de cette étude, améliorera le niveau des connaissances et permettra de mieux assurer la mise en œuvre de la planification de la conservation et de la restauration de cette espèce agroforestière autochtone. La tâche semble d'autant plus urgente que sa population soumise à des effets anthropiques et climatiques est sans cesse menacée de disparition. La compréhension des facteurs qui limitent sa distribution spatiale reste une étape cruciale pour améliorer les stratégies de gestion et de conservation. En raison de l'intégration des produits de cette espèce dans la vie socioéconomique des populations du Niger et compte tenu de la dépendance des populations locales vis-à-vis de l'espèce pour divers usages, la mise en place de toute stratégie de gestion adaptée et durable doit nécessairement prendre en compte les résultats de cette étude.

Références

- [1] - M. BOKO, I. NIANG, A. NYONG, C. VOGELA GITHEKO, M. MEDANY, T. R. OSMAN-ELASHA and P. YANDA, Africa Climate change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change Cambridge University Press, Cambridge, (2007) 433 - 467
- [2] - S. SOLOMON, M. MANNING, M. MARQUIS, D. QIN, Climate change, the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC, Cambridge university press, Vol. 4, (2007)
- [3] - J. W. BUSBY, T. G. SMITH, K. L. WHITE, S. M. STRANGE, Locating climate insecurity : Where are the most vulnerable places in Africa? In : Climate change, human security and violent conflict. Springer, (2012) 463 - 511
- [4] - F. GENDREAU, P. CANTRELLE, Prospective des déséquilibres mondiaux : démographie et santé. Paris : CEPED, (Les Dossiers du CEPED ; 7). ISBN 2-87762-008-5, (1989) 33 p.
- [5] - A. AWAISS, M. ILLIA, I. SOUMANA, I. AMOUKOU, Les ressources ligneuses et leur exploitation comme bois de feu et de service à Mayahi. Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel, (1996) 28 - 23
- [6] - A. JOET, P. JOUVE, M. BANOIN, Le défrichement amélioré au Sahel. Une pratique agroforestière adoptée par les paysans. Bois et forêts des tropiques, 1998 (255) 31 - 43
- [7] - S. MOUKRIM, S. LAHSSINI, H. MHARZI ALAOU, N. RIFAI, M. ARAHOU, L. RHAZI, Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation : cas de l'Argania spinosa (L.) Skeels. Revue d'écologie, Vol. 73, (2018)
- [8] - M. MERLO, I. CROITORU, Valuing Mediterranean forests Towards a total economic value, (2005) pp.xxii 406 p.
- [9] - V. P. PAPANASTASIS, Grazing value of Mediterranean forests. Modelling, valuing and managing Mediterranean forest ecosystems for non-timber goods and services, 57 (2009) 7 - 15
- [10] - S. LAHSSINI, S. HAJIB, H. LAHLAOI, H. M. ALAOU, A. KHATTABI, Modeling spatial distribution of the Carob Tree (*Ceratonia siliqua* L.) in Azilal Province, Morocco. *Journal of Geography and Geology*, 7 (4) (2015)

- [11] - A. GARBA, A. MANI, L. ABDOU, A. MAHAMANE, Perceptions et usages socioéconomiques du tamarinier (*Tamarindus indica* L.) dans le Sud-Ouest du Niger : Implications pour une domestication et une conservation durable. *Journal of Animal & Plant Sciences (J Anim Plant Sci)*, 40 (2) (2019) 6584 - 6602
- [12] - A. GUISAN, N. E. ZIMMERMANN, Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135 (2-3) (2000) 147 - 186
- [13] - J. ELITH, J. R. LEATHWICK, Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40 (2009) 677 - 697
- [14] - M. AUSTIN, Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological modelling*, 157 (2-3) (2002) 101 - 118
- [15] - J. FRANKLIN, Mapping species distributions : spatial inference and prediction : Cambridge University Press, (2010)
- [16] - H. PADALIA, V. SRIVASTAVA, S. KUSHWAHA, Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India : Comparison of MaxEnt and GARP. *Ecological informatics*, 22 (2014) 36 - 43
- [17] - S. J. PHILLIPS, R. P. ANDERSON, R. E. SCHAPIRE, Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190 (3-4) (2006) 231 - 259
- [18] - C. CALVET, Interprétation hydrique de la notion d'étage de végétation selon L. Emberger : application au Maroc (Meteoritic water and Emberger's vegetation levels in Morocco). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 56 (464) (1979) 331 - 339
- [19] - R. J. HIJMANS, C. H. GRAHAM, The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology*, 12 (12) (2006) 2272 - 2281
- [20] - K. KOFFI, F. BOYEMBA, M. NDJELE, M. MATE, E. ROBBRECHT, J. LEJOLY, J. BOGAERT, La distribution spatiale des Acanthaceae dans les secteurs phytogéographiques de Ndjele 1988 en RD Congo. *Annales de la Faculté des Sciences, Université de Kisangani*, 13 (2008) 1 - 8
- [21] - R. A. BALDWIN, Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11 (4) (2009) 854 - 866
- [22] - J. ELITH, S. J. PHILLIPS, T. HASTIE, M. DUDÍK, Y. E. CHEE, C. J. YATES, A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17 (1) (2011) 43 - 57
- [23] - T. FAWCETT, An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27 (8) (2006) 861 - 874
- [24] - J. A. HANLEY, B. J. MCNEIL, The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143 (1) (1982) 29 - 36
- [25] - M. B. ARAÚJO, R. G. PEARSON, W. THUILLER, M. ERHARD, Validation of species-climate impact models under climate change. *Global change biology*, 11 (9) (2005) 1504 - 1513
- [26] - B. S. BOUKO, P. J. DOSSOU, B. AMADOU, B. SINSIN, Exploitation Des Ressources Biologiques Et Dynamique De La Foret Classee De La Mekrou Au Benin. *Eur Sci J ESJ*, 12 (36) (2016)
- [27] - A. HADONOU-YOVO, T. LOUGBEGNON, L. HOUÉSSOU, Y. ADEBI, G. SINASSON, U. LANGE, M. BOKO M, Impact des changements climatiques sur les aires de distribution de 4 espèces ligneuses dans la Réserve de Biosphère du Mono au Bénin (*Ficus trichopoda*, *Mitragyna inermis*, *Sorindeia grandifolia* et *Pterocarpus santalinoides*) *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, Vol. 2, N°01 (2019) 12 - 28
- [28] - P. BERRY, C. THOMSON, J. O'HANLEY, E. GLUCKSMAN, Assessing the vulnerability of species in Europe and the biogeographical regions to climate change, (2007)
- [29] - A. J. HANSEN, R. P. NEILSON, V. H. DALE, C. H. FLATHER, L. R. IVERSON, D. J. CURRIE, S. SHAFER, R. COOK, P. J. BARTLEIN, Global change in forests: responses of species, communities, and biomes: interactions between climate change and land use are projected to cause large shifts in biodiversity. *BioScience*, 51 (9) (2001) 765 - 779
- [30] - J. P. THEURILLAT, A. GUISAN, Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps : a review. *Climatic change*, 50 (1-2) (2001) 77 - 109
- [31] - N. E. HELLER, E. S. ZAVALETA, Biodiversity management in the face of climate change : a review of 22

- years of recommendations. *Biological conservation*, 142 (1) (2009) 14 - 32
- [32] - J. A. SWETS, Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240 (4857) (1988) 1285 - 1293
- [33] - C. BOWE, Predicting suitable areas for the production of tamarind (*Tamarindus indica* L.), an underutilised fruit tree species. University of Southampton, (2007)
- [34] - A. B. FANDOHAN, A. E. ASSOGBADJO, R. L. G. KAKAÏ, B. SINSIN, P. VAN DAMME, Impact of habitat type on the conservation status of tamarind (*Tamarindus indica* L.) populations in the W National Park of Benin. *Fruits*, 65 (1) (2010) 11 - 19
- [35] - J. H. CHRISTENSEN, B. HEWITSON, A. BUSUIOC, A. CHEN, X. GAO, R. HELD, R. JONES, R. K. KOLLI, W. KWON, R. LAPRISE, Regional climate projections in Climate Change. The Physical Science Basis Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press, Cambridge, *Chapter*, 11 (2007) 847 - 940
- [36] - G. A. MEEHL, T. F. STOCKER, W. D. COLLINS, P. FRIEDLINGSTEIN, T. GAYE, J. M. GREGORY, A. KITOH, R. R. KNUTTI, J. M. MURPHY, A. NODA, *Global climate projections*, (2007)