

Impacts des tendances actuelles et futures du climat sur la distribution des Combretacées au Niger

AMADOU ISSOUFOU Abdourhimou¹;
SALE MODI Maarou²; BIO Ismael²; ZON Aboubacar Oumar³;
ISSAHAROU MATCHI Issiaka²; MAHAMANE Ali⁴

Résumé

De nombreuses espèces sont menacées d'extinction ou ont disparu à cause de la dégradation ou la disparition de leurs habitats, par suite des effets des changements climatiques. Cette étude s'est intéressée à la modélisation de la distribution potentielle de *Combretum micranthum* G.DON et *Combretum glutinosum* Per ex DC au Niger. La modélisation a été réalisée avec trois algorithmes MAXENT, BRT et RF et les résultats ont été testés en se basant sur la Courbe Caractéristique d'Opération. Les points de présence proviennent des relevés de terrain et de la base de données de GBIF. Les variables environnementales proviennent du site de *WorldClim*. Les résultats montrent que les précipitations du trimestre le plus froid (BIO12) et les températures moyennes mensuelles des variations journalières (BIO2) sont les variables bioclimatiques qui influencent le plus la distribution de ces espèces. La cartographie des aires potentielles révèle que les espèces connaîtront des diminutions d'aires favorables pour tous les scénarii utilisés, à l'exception du RCP8.5_2050 qui prédit une augmentation. Ce scénario prédit un gain de 41410,80 km² pour *Combretum micranthum* et de 15 573,70 km² pour *Combretum glutinosum*. La plus grande perte d'aire favorable a été observée avec le scénario RCP8.5_2070, soit une réduction de -111 483,60 km² pour *Combretum micranthum* et de -118 307,74 km² pour *Combretum glutinosum*. Les résultats montrent que ces espèces sont menacées par les effets néfastes du changement climatique et peuvent servir d'outil d'aide à la décision pour le gestionnaire forestier dans la définition du choix des essences.

Mots-clés. *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum*, variables climatiques, Niger, Prédiction spatiale.

¹Faculté des Sciences Agronomiques et Ecologique (FSAE), Université de Diffa, Niger

² Institut Supérieur en Environnement et Ecologie (IS2E), Université de Diffa, Niger

³ Lab. of Plant biology and Ecology (LaBEV), Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso

⁴ Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université Abdou Moumouni, Niger

*Corresponding author: AMADOU ISSOUFOU Abdourhimou, amadou_issoufou@gmail.com

Impacts of current and future climate trends on the distribution of Combretaceae in Niger”

Abstract

Many species are threatened with extinction or have disappeared due to the degradation or disappearance of their habitats because of the effects of climate change. This study focused on modeling the potential distribution of *Combretum micranthum* G.DON and *Combretum glutinosum* Per ex DC in Niger. Modeling was carried out using three algorithms: MAXENT, BRT and RF, and the results were tested based on the Operating Characteristic Curve. Points of presence were derived from field surveys and the GBIF database. Environmental variables were downloaded from the WorldClim website. The results show that precipitation in the coldest quarter (BIO12) and mean monthly temperature of daily variation (BIO2) are the bioclimatic variables that most influence the distribution of these species. The mapping of potential areas reveals that species will experience decreases in favorable areas for all the scenarios used, except for RCP8.5_2050, which predicts an increase. This scenario predicts a gain of 41,410.80 km² for *Combretum micranthum* and 15,573.70 km² for *Combretum glutinosum*. The greatest loss of favorable area was observed with the RCP8.5_2070 scenario, with a reduction of -111,483.60 km² for *Combretum micranthum* and -118,307.74 km² for *Combretum glutinosum*. The results show that these species are threatened by the adverse effects of climate change and can serve as a decision-making tool for forest managers in defining their choice of tree species.

Keywords. *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum*, climate variables, Niger, Prediction.

Introduction

Reconnue aujourd’hui menacée, la protection de la biodiversité constitue un enjeu planétaire aussi crucial que la gestion du changement climatique. Selon les travaux de l’UICN (2009) ; ABDOU *et al.* (2020), plusieurs espèces ont disparu ou sont en voie de disparition dans de leur habitat naturel. C’est ainsi qu’au Niger, sur un potentiel de ressources forestières ligneuses nationales estimé en 1989 à 16 millions d’hectares comprenant 600.000 ha de forêts classées, environ 200.000 ha sont perdus chaque année du fait des facteurs anthropiques et des effets néfastes des variations climatiques (ABDOURAHAMANE *et al.*, 2012). Cette forte dégradation des ressources forestières menace la survie de nombreuses espèces (ABDOU *et al.*, 2021). Quelques études ont dressé les conséquences potentielles des changements de climat sur la biodiversité en Afrique. Ainsi, McCLEAN *et al.* (2005) estiment que plus de 5000 espèces de plantes africaines pourraient connaître des

pertes d'habitats avant 2080. Parmi les taxa les plus vulnérables à la réduction d'habitat adéquat, se trouvent les espèces qui : (1) ont un âge de maturité élevé, (2) produisent des diaspores en faibles quantités, (3) sont disséminées sur de faibles distances, (4) sont déjà soumises à une pression anthropique importante (ARAUJO *et al.*, 2007 ; PENMAN *et al.*, 2010). Le climat est le principal facteur déterminant la répartition des espèces d'arbres à l'échelle régionale dans la zone tropicale (MORIN *et al.*, 2007). Selon le GIEC (2022), le changement climatique a déjà causé des dégâts généralisés à la nature et aux humains au-delà de la variabilité naturelle du climat. Il est responsable d'une détérioration généralisée des fonctions et structures des écosystèmes (terrestres, d'eau douce, marines).

Face à cette situation, le recours à la modélisation serait nécessaire (GUISAN *et al.*, 1995). Celle-ci fait partie des arsenaux de méthodes pour identifier la nature et l'ampleur des changements écologiques que pourraient entraîner les changements environnementaux, et tout particulièrement les changements climatiques serait nécessaire (GUISAN *et al.*, 1995).

De telles menaces entraîneront des réductions des aires géographiques favorables et de la disponibilité des habitats pour certaines espèces forestières (RHOUMA et MARIEM, 2022). Cette situation risque de compliquer la tâche des conservateurs et gestionnaires des ressources forestières qui ont souvent des données limitées pour restaurer et gérer durablement les écosystèmes forestiers.

D'une part, on assistera à la diminution du couvert végétal qui favorisera la désertification, la diminution des services que cet écosystème rend à la population et d'autre part rend les populations plus vulnérables aux inondations. Il est de ce fait, important de cartographier les aires de distribution des espèces pour servir de données de prise de décision dans la gestion durable de ces espèces.

Les changements climatiques vont entraîner des modifications ces 2 espèces, de manière directe à travers l'effet du climat sur la végétation et de manière indirecte à travers les évolutions du contexte socio-économique et de la demande de services écosystémique. Selon GASTON (1996), la prédiction et la cartographie des habitats potentiellement adéquats pour les espèces menacées et en danger est nécessaire pour : (1) le contrôle et la restauration de leurs populations d'origine et de leurs habitats naturels, (2) les introductions artificielles, (3) la sélection des sites prioritaires de conservation, (4) la gestion de

leur habitat naturel. L'objectif général poursuivi par la présente étude est d'étudier la distribution potentielle de la niche présente et future de *Combretum micranthum* G.DON et *Combretum glutinosum* Perr ex DC.

I. Matériel et méthodes

I.1. Zone d'étude

L'étude a été conduite au Niger. C'est un pays sahélien de l'Afrique de l'ouest, situé entre 11°37' et 23°33' de latitude Nord et entre 0° 10' et 16° 00' de longitude Est. Il est limité au Nord par l'Algérie et la Libye, à l'Est par le Tchad, au Sud par le Nigeria et le Bénin et à l'Ouest par le Burkina Faso et le Mali. Sur la base de la pluviométrie moyenne, on peut définir différents types d'environnement et de végétation. On peut différencier trois zones de végétation : la zone saharienne à moins de 200 mm, sahélienne entre 200 et 600 mm et enfin soudanienne à plus de 600 mm. Entre ces 2 zones on peut encore identifier une zone de transition : entre 200 et 300 mm la zone saharo-sahélienne.

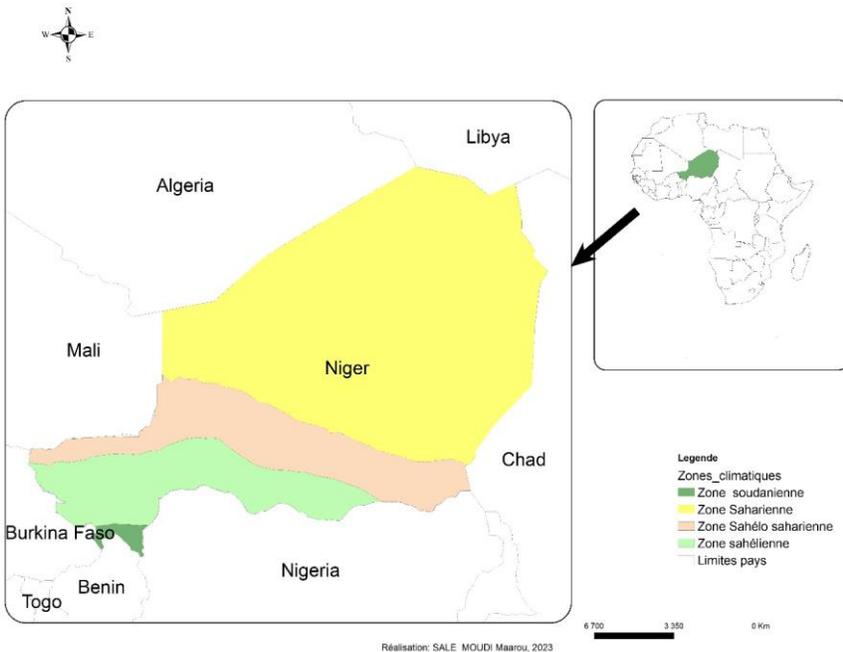


Figure 1:localisation de la zone d'étude

I.2. Justification de la méthodologie

Par modélisation, on entend en écologie numérique la tentative de reproduire la réalité observée par l'utilisation de programmes informatiques et d'algorithmes mathématiques (GUISAN *et al.*, 1996). Elle consiste à construire une fonction de paramètres environnementaux qui prédit la probabilité de présence de l'espèce.

Aujourd'hui, les modèles de distribution d'espèces sont de plus en plus utilisés pour répondre aux problématiques majeures. Ces modèles apporteront une meilleure compréhension de l'écologie de l'espèce, la description et la prédiction fiables de son aire potentielle, et l'identification des facteurs qui déterminent sa distribution (KUMAR et STOHLGREN, 2009 ; GBESSO *et al.*, 2018a). Ils représentent de ce fait, un outil pertinent pour la gestion et la conservation de l'environnement et de la biodiversité (GUISAN et ZIMMERMANN, 2000 ; BARBOSA *et al.*, 2009).

L'usage de la cartographie dans la prédiction d'habitat favorable permet la prise de décision dans la gestion durable des ressources naturelles. A travers la cartographie, on peut étudier la dynamique de population. Elle est également un outil décisionnel de l'aménagement parce qu'elle permet de localiser les zones de risques.

Le choix de ces espèces a été non seulement fonction des biens et services (le renforcement de la sécurité alimentaire, de la santé, des relations sociales, à l'augmentation des revenus, à la gestion durable des terres, à la réduction des effets des changements climatiques) qu'elles procurent et aussi fonction de l'optique de conservation au vu des pressions anthropiques qui s'exercent sur elles.

I.3. Collecte des données

I.3.1. Points de présence utilisés (occurrences)

Il s'agit des coordonnées géographiques utilisées dans l'étude. Ces coordonnées sont de deux provenances. Une partie provient des relevés de terrain effectués et pris à l'aide d'un GPS (*Global Positioning System*) marque Garmin. Cette base de données a été complétée avec celle disponible sur le site de *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF[®]), <https://www.gbif.org>. Le tableau 1 donne les points de présence utilisés par source.

Tableau I: Points d'occurrence collectée par sources

| Espèces | Données terrain | de GBIF | Total |
|----------------------|-----------------|---------|-------|
| <i>C. glutinosum</i> | 115 | 235 | 350 |
| <i>C. micranthum</i> | 113 | 241 | 354 |

I.3.2. Données bioclimatiques

Les données bioclimatiques sont obtenues de la base des données *worldclim* (<https://www.worldclim.org>). Les données sont constituées de 19 variables bioclimatiques (HIJMANS *et al.* 2006a). Ces données au format raster (tif) avec une résolution spatiale de 10 minutes ont été extraites et préparées à la même emprise et résolution spatiale, et rapportées à un même système de projection.

Les données actuelles sont utilisées pour modéliser la distribution actuelle et celles de 2050 et de 2070 pour la distribution future sous deux scénarios (RCP 4.5 et le RCP 8.5) du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) de 2013.

I.4. Analyse des données

Les 19 variables chargées sur *Rstudio*, ont été soumises au test VIF afin de choisir les variables à inclure dans le modèle. Ainsi, les variables au VIF inférieur à 10 ont été retenues (GUISAN *et al.*, 1996). Trois répétitions ont été faites pour produire le modèle robuste. Les statistiques *AUC*, *TSS*, *Sensibility* (capacité à prédire une présence lorsque l'observation est une présence), *specificity* (capacité à prédire une absence lorsque l'observation est une absence) et le Kappa de Cohen sont également calculés. Pour déterminer les variables qui contribuent le plus à la modélisation, la fonction *getVarImp* a été appliquée. Le logiciel *rstudio* 4.4.1 a été utilisé pour traiter et analyser les données.

II. Résultats

II.1. Sélection des variables bioclimatiques

D'après le VIF, TSS et AUC, sept variables bioclimatiques ont été retenues pour valider le modèle. Il s'agit de BIO2 (Moyenne mensuelle des variations journalières), BIO9 (Température moyenne du trimestre le plus sec), BIO 10 (Précipitations du trimestre le plus chaud), BIO12 (Précipitations du trimestre le plus froid), BIO15 (Saisonnalité des

Précipitations (Coef. variation), BIO17 (Précipitations du trimestre le plus sec) et BIO 18 (Précipitations du trimestre le plus chaud) (Tableau 2).

Tableau II: VIF des variables retenues

| Variables | VIF | Signification |
|------------------|------------|---|
| BIO2 | 1,930858 | Moyenne mensuelle des variations journalières |
| BIO9 | 7,082710 | Température moyenne du trimestre le plus sec |
| BIO10 | 1,670864 | Précipitations du trimestre le plus chaud |
| BIO12 | 7,197839 | Précipitations du trimestre le plus froid |
| BIO15 | 4,201497 | Saisonnalité des Précipitations (Coef. variation) |
| BIO17 | 3,953484 | Précipitations du trimestre le plus sec |
| BIO18 | 3,593705 | Précipitations du trimestre le plus chaud |

II.2. Contribution relative des variables

L'analyse des résultats (tableau 3) révèle que les principales variables qui ont le plus d'influence sur la présence de ces espèces sont : précipitations du trimestre le plus froid (BIO12) avec 39,50 % et 30,00 % respectivement pour *Combretum glutinosum* et *Combretum micranthum*. Elle est suivie de la moyenne mensuelle des variations journalières (BIO2) avec 6,80 % pour *Combretum micranthum* et précipitations du trimestre le plus sec (BIO17) pour *Combretum glutinosum* avec 3,50 %. La variable saisonnalité des précipitations (Coef. Variation) (BIO15) a la plus faible contribution pour la réalisation du modèle avec 0,70 % et 1,30 % respectivement pour *Combretum micranthum* et *Combretum glutinosum*.

II.3. Performance du modèle développé

Les valeurs de l'AUC sont supérieures à 0,9 pour tous les algorithmes utilisés et pour toutes les espèces. Cela montre l'excellence de la modélisation réalisée et permet d'accorder du crédit aux variables utilisées (Tableau 4).

Tableau III: Contribution relative des variables

| Variables | Importance (%) |
|-----------------------------|----------------|
| <i>Combretum micranthum</i> | |
| BIO2 | 6,80 |
| BIO9 | 5,70 |
| BIO10 | 3,00 |
| BIO12 | 30,00 |
| BIO15 | 0,70 |
| BIO17 | 1,40 |
| <i>Combretum glutinosum</i> | |
| BIO2 | 3,00 |
| BIO9 | 2,90 |
| BIO10 | 1,60 |
| BIO12 | 39,50 |
| BIO15 | 1,30 |
| BIO17 | 3,50 |

Tableau IV : Résultats des tests AUC et TSS

| <i>Combretum micranthum</i> | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|----------|
| Méthodes | AUC | COR | TSS | Déviance |
| MAXENT | 0,96 | 0,77 | 0,80 | 0,45 |
| BRT | 0,96 | 0,78 | 0,80 | 0,57 |
| RF | 0,98 | 0,86 | 0,86 | 0,29 |
| <i>Combretum glutinosum</i> | | | | |
| MAXENT | 0,96 | 0,79 | 0,81 | 0,45 |
| BRT | 0,97 | 0,83 | 0,83 | 0,56 |
| RF | 0,98 | 0,79 | 0,88 | 0,10 |

II.4. Réponses écologiques des espèces

L'analyse de la figure 2 révèle les réponses écologiques des espèces étudiées en fonction des variables bioclimatiques. L'analyse montre que les deux espèces ont les mêmes réponses pour les précipitations du trimestre le plus froid (BIO12) et précipitations du trimestre le plus chaud (BIO10).

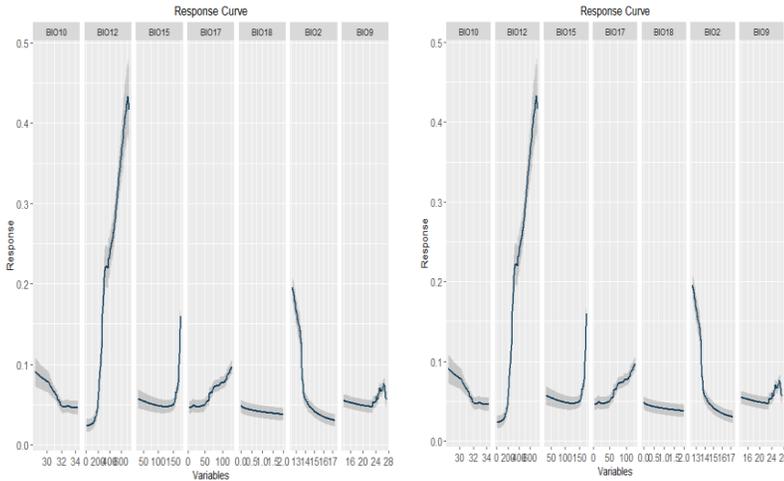
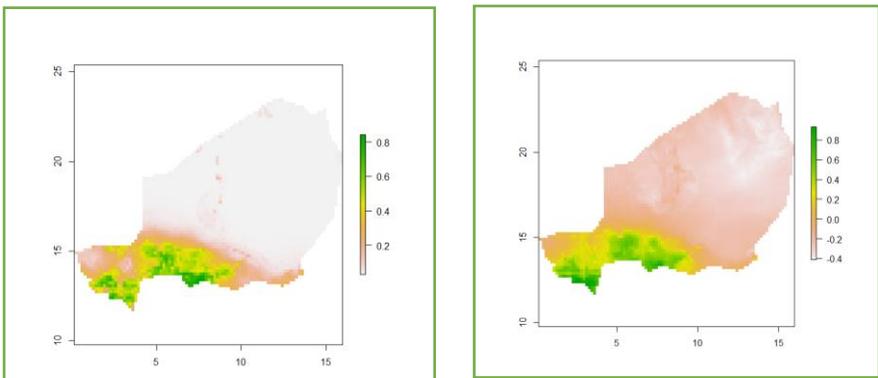


Figure 2: Réponse écologique des espèces

II.5. Aire potentielle des deux espèces sous les conditions climatiques actuelles

La figure 3 révèle la distribution actuelle de *Combretum micranthum* et *Combretum glutinosum* au Niger. Selon les modèles, les habitats favorables au développement de ces espèces au Niger sont répartis entre les zones soudaniennes, sahélo-soudaniennes et sahéliennes. Les habitats les plus favorables se répartissent en grande partie dans les zones les plus humides du pays (sahélo-soudanienne et soudanienne). Les habitats peu favorables essentiellement dans la zone sahélienne.



A: *Combretum micranthum*

B: *Combretum glutinosum*

Figure 3 : Aire de distribution actuelle des espèces

II.6. Impact du changement climatique sur l'aire potentielle de ces deux espèces

La comparaison des cartes de distribution potentielle de ces deux espèces sous les conditions climatiques actuelles et futures a permis d'estimer l'impact du changement climatique sur la distribution de ces espèces. Les aires favorables pour ces deux espèces sont localisées dans la bande sud du pays (zone soudanienne, sahélienne et sahélo-saharienne) (Figure 3)

L'analyse des étendues des différents habitats favorables à ces espèces, montre qu'environ 179.502,5 km² de surface sont favorables pour la distribution de *Combretum micranthum* (Tableau 5), et 192.462,50 km² pour *Combretum glutinosum* (Tableau 6). En ce qui concerne les projections futures, seul le RCP8.5_2050 montre une augmentation des aires favorable pour les deux espèces. Il ressort de cette analyse que le dérèglement climatique entrainera une augmentation des aires de distribution favorables de ces espèces. Ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'il aurait à une augmentation de la pluviométrie prédite par les différents modèles RCP 4.5 et 8.5 utilisés. Outre, les aires ont connu une diminution départ toutes les projections faites à l'exception du RCP 8.5_2050 qui a montré une augmentation des aires favorables pour toutes les espèces (Tableau 5 et 6).

Tableau V: Tendances futures des habitats de *Combretum micranthum* en km²

| | Favorable (km²) | Non favorable (km²) | Gain / Perte |
|--------------------|---------------------------------------|---|---------------------|
| Présent | 179.502,5 | 1.014.274,8 | ----- |
| Futur | | | |
| RCP4.5_2050 | 1 22 244,4 | 1 016 532,9 | -57 258,1 |
| RCP4.5_2070 | 133 152,1 | 1 060 625,2 | -46 350,40 |
| RCP8.5_2050 | 220 913,3 | 972 863,9 | 41 410,80 |
| RCP8.5_2070 | 68 018,9 | 1 125 758,40 | -111 483,6 |

Tableau VI: Tendances des habitats futurs de *Combretum glutinosum*

| | Favorable (km ²) | Non favorable (km ²) | Gain / Perte (km ²) |
|--------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Présent | 192.462,50 | 1.001.314,80 | ----- |
| Futur | | | |
| RCP4.5_2050 | 163.367,60 | 1.030.409,70 | -29.094,90 |
| RCP4.5_2070 | 127.241,10 | 1.066.536,20 | -65.221,40 |
| RCP8.5_2050 | 208.036,20 | 985.741,10 | 15.573,70 |
| RCP8.5_2070 | 74.154,76 | 1.119.622,52 | -118.307,74 |

III. Discussion

Analyse de la contribution des variables

Cette étude vise à identifier les variables environnementales qui ont un impact sur la dynamique de deux espèces ligneuses et d'estimer l'impact du changement climatique sur la dynamique de ces espèces.

Cette étude montre que les variables BIO 12 (précipitations du trimestre le plus froid), BIO 2 (moyenne mensuelle des variations journalières) et BIO 17 (précipitations du trimestre le plus sec) influencent fortement la distribution de ces 2 espèces. Cela renforce l'idée de projections « excellente » du ROC et du TSS (AUC supérieur à 0,9 et TSS supérieur à 0,8). En effet, dans les conditions climatiques actuelles, les précipitations et leur variabilité constituent le facteur le plus important de la distribution de ces espèces et leur croissance. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par FERNANDA (2023a) qui a montré que les variables bioclimatiques jouent un rôle de première importance dans la distribution des espèces.

Facteurs de distribution de *Combretum micranthum* et *Combretum glutinosum*

Cette étude montre que la variable précipitation (BIO12) est le plus grand facteur de distribution spatiale des deux espèces. Nos résultats sont en concordance avec les études de ZERBO (2011) qui ont montré que la température et les précipitations sont les facteurs prépondérants qui influencent la distribution de *Acacia senegal*. Selon FERNANDA (2023b), la précipitation influence la disponibilité en eau-tandis que la température influence la physiologie, le développement et la

reproduction des espèces. GBESSO (2008) a trouvé des résultats similaires, démontrant que la pluviométrie et la température, sont les plus déterminants dans la distribution des espèces tropicales lorsque la modélisation de la distribution des espèces concerne une large étendue.

Les résultats de l'analyse de la contribution des différentes variables dans la modélisation de la distribution de ces espèces semblent être cohérents avec l'écologie des espèces étudiées. Ils confirment la plage climatique de ces espèces, qui est caractérisée par des précipitations abondantes et des amplitudes thermiques considérables. L'absence des espèces dans la zone saharienne et dans une partie de la zone sahélo-saharienne confirme les résultats du test de contribution des variables. Etant donné que dans ces zones, les précipitations sont faibles et températures sont élevées, cela montre que les précipitations et températures constituent un facteur limitant pour les espèces étudiées. Cela suppose que le dérèglement climatique entraînera une augmentation des aires de distribution favorables de ces espèces.

Impacts potentiels du changement climatiques sur *Combretum micranthum* et *Combretum glutinosum*

Tous les scénarios utilisés prédisent une augmentation de l'aire de distribution des espèces étudiées à l'exception du scénario RCP8.5 2050. Il a été observé pour les espèces étudiées, une extension de leur habitat sous l'effet des changements climatiques. L'augmentation de l'aire de distribution s'expliquerait principalement par l'augmentation projetée de la pluviométrie. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par ABDYOU *et al.* (2020) sur *Prosopis africana* au Niger, MOKRIM *et al.* (2018). Les résultats du scénario RCP8.5 2050 indique que les aires de distribution de ces espèces connaîtront une régression de leurs aires de répartition. Ces résultats corroborent avec ceux de McLEMAN et SMIT (2005) qui ont conclu que d'ici l'an 2085, environ 2000 espèces de plantes africaines devraient être touchées négativement par les changements climatiques. Aussi, PEARSON *et al.* (2003) ; THOMAS *et al.* (2004) annoncent l'impact négatif des changements climatiques sur la diversité biologique. Dans ce cas, le défi de conservation de ces espèces existe quant au changement climatique, bien au contraire, une partie de nos résultats prédit une augmentation de l'aire potentielle de ces espèces. Les deux espèces présenteraient tout de même d'habitats favorables en communs qui correspondent très bien aux zones de présence actuelle de ces espèces. Ces résultats confirment les courbes de réponses écologiques de ces espèces. Les résultats renvoient aux

conclusions de plusieurs auteurs (WRIGHT, 2005 ; BOGAERT *et al.*, 2008 ; WASSEIGE *et al.*, 2012) qui ont affirmé que c'est plutôt la pluviométrie qui pourrait être la première cause de l'extinction des espèces. Toutefois, les gains prévus dans le futur ne contribueront pas à la compensation totale des pertes prédites, étant donné que la colonisation de nouvelles zones par une espèce végétale dépendra fortement de sa capacité spécifique à s'adapter localement aux nouvelles conditions climatiques, des facteurs limitants de l'expansion des espèces (biologiques, écologiques et génétiques), de son utilisation, de sa gestion et des perturbations anthropiques futures (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Conclusion

Cette étude a été conduite pour identifier les variables environnementales qui ont un impact sur la dynamique de deux espèces ligneuses et d'estimer l'impact du changement climatique sur la dynamique de ces espèces. Par leur rapidité et leur niveau, les évolutions climatiques pourront devenir l'une des pressions principales sur la biodiversité. *Combretum micranthum* et *Combretum glutinosum* sont deux espèces qui ont subi une forte dégradation et une réduction de sa distribution spatiale. En effet, le présent travail a fourni la première carte de l'aire de distribution potentielle de ces espèces dans le contexte des données climatiques actuelles et futures. Dans les conditions climatiques actuelles, les précipitations du trimestre le plus froid (BIO12) et la température moyenne mensuelle des variations journalières (BIO2) sont les descripteurs qui influencent le plus l'aire de répartition de ces espèces. Les résultats de cette étude représentent les connaissances actuelles. Ce constat nécessite donc d'intégrer à la gestion forestière les notions du risque et d'adaptabilité. Les résultats de cette étude permettront progressivement de prendre en compte l'effet des changements climatiques dans nos pratiques forestières, en guidant les aménagistes dans le choix des espèces à favoriser dans le paysage.

Références Bibliographiques

ABDOU H., ABDOU M. K. H., ABDOU L., RABIOU H., MAHAMANE A. (2021). Impact des changements climatiques sur l'habitat de *Balanites aegyptiaca*, *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 9(2) : 220-229.

ABDOU L., ABDOURAHAMANE I. S., MOUSSA M. B., MAHAMANE A. (2020). Impact potentiel du changement climatique

sur la dynamique des peuplements de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub. à l'horizon 2050 au Niger, *Journal of Animal & Plant Sciences*. ISSN 2071-7024) Vol.46 (2): 8164-8174, 11 pages <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v46-2.1>

ABDOURHAMANE H., MOROU B., MAHAMANE A., SAADOU M., ISSAKA A. (2012). Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le complexe des forêts classées de Dan kada Dodo et de Dan Gado (région de Maradi, Niger). *Journal des Sciences de l'Environnement*, 1: 16-26.

ARAÛJO, M.B., et NEW, M. (2007) Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22:42-47.

BARBAULT, R. (2005). Biodiversité, écologie et sociétés. *Écologie politique*, 30(1), 27-40.

BARBET M., MORGANE, JIGUET, FREDERIC, ALBERT, CECILE HELENE ET THUILLER, WILFRIED. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? How to use pseudo-absences in niche modelling? In : *Methods in Ecology and Evolution*. avril 2012. Vol. 3, n° 2, p. 327-338. DOI 10.1111/j.2041-210X.2011.00172.x.

BARBOSA, P., HINES, J., KAPLAN, I., MARTINSON, H., SZCZEPANIEC, A., ET SZENDREI, Z. (2009). Associational resistance and associational susceptibility: having right or wrong neighbors. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40, 1-20

FERNANDA, O. (2023). Environmental variables for species distribution models, 3 pages. Environmental variables for species distribution models – GIS Crack. 72.

GASTON K.J. (1996). Species richness: measure and measurement. *Biodiversity: a biology of numbers and difference* (ed. K.J. Gaston), Blackwell Science, Oxford pp. 77–113.

GBESSO, GHF. (2010). Structure, dynamique des populations et importances socioéconomiques et culturelles de *Chrysophyllum albidum* sur le plateau d'Allada (Sud Bénin). Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi, p. 87.

GEREPI. (2018). Modélisation des habitats favorables au triton crete (*Triturus cristatus*) et au triton marbre en Pays de la Loire. Mémoire de master 2, 67 pages.

GIEC. (2007). *Climate Change: Synthesis Report*. Cambridge University Press: New York, USA. 12.

GIEC. (2022) synthèse du rapport AR6 du GIEC. 17.

Guisan A., et N. E. Zimmermann. (2000). Predictive Habitat Distribution Models in Ecology. *Ecol. Modell.* 135 (2-3): 147-86.

GUISAN, A. (1996). Alplandi: évaluer la réponse des plantes alpines aux changements climatiques à travers la modélisation des distributions actuelles et futures de leur habitat potentiel. *Bulletin de la Murithienne*, (114), 187-196.

HIJMANS, RJ., CAMERON, SE., PARRA, JL., JONES, PG., JARVIS, A. (2005). Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas, *Int. J. Climatol.*, 25: 1965-1978.
<https://doi.org/10.1002/joc.1276>

<https://www.gbif.org>

<https://www.worldclim.org>

MORIN, X., AUGSPURGER, C., CHUINE, I. (2007). “Process-based modeling of tree species’ distributions: What limits temperate tree species’ range boundaries?” *Ecology*, 88, pp. 2280-2291. DOI : 10.1890/06-1591.1

MOUKRIM, S., LAHSSINI, S., RIFAI, N., MENZOU, K., MHARZI-ALAOUI, H., LABBACI, A., RHAZI, M., WAHBY, I., EL MADIHI, M., RHAZI, L. (2020). Modélisation de la distribution potentielle de *Cedrus atlantica Manetti* au Maroc et impacts du changement climatique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 344 : 3-16. Doi: <https://doi.org/10.19182/bft2020.344.a3188>

MOUKRIM, S., SAID, L., ALAOUI, N., RIFAI, M., ARAHOU, L. (2018). Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation : cas de l’*Argania spinosa* (L.) skeels. *Bois Forêt et Tropiques*, vol. 73 (2), 153-166

NAIMI, B., et ARAUJO, M.B. (2016) sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling, *Ecography*, 39:368-375, DOI: 10.1111/ecog.01881

OZER, A., et OZER, P. (2005). Désertification au Sahel : Crise climatique ou anthropique? *Bulletin des Séances de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, 51(4), 395-423.

OZER, P., BODART, C., TYCHON, B. (2005) Analyse climatique de la région de Gouré. Niger oriental: Récentes modifications et impacts environnementaux. *CyberGeo: European Journal of Geography*, 308, 1-24.

PEARMAN, P.B., GUISAN, A., BROENNIMANN, O., RANDIN, C.F. (2008). Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 23, n° 3, p. 149-158. DOI : [10.1016/j.tree.2007.11.005](https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.11.005)

PEARSON, R. G., et DAWSON, T. P. (2006). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361-371

PEARSON, R. G., et DAWSON, T.P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of some keystone species. *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361-371.

PEARSON, R. G., et THULLER, W. (2006), Model-based Uncertainty in Species Range Prediction, *Journal of biogeography*, 33: 1704-1711.

PEARSON, R. G., RAXWORTHY, C. J., NAKAMURA, M., TOWNSEND, P. A. (2006). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar, *Journal of Biogeography*, 34: 102-117.

PETERSON, A.T. (2003) Projected climate change effects on Rocky Mountain and Great Plains birds: generalities of biodiversity consequences. *Glob Change Biol*; 9(5):647–55.

PHILIPPS, J. (2009), A Brief Tutorial on MaxEnt. 7.

PHILLIPS, S. J., DUDIK, M., SHAPIRE, R. E. (2004). A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling, *Proceeding of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, 655-662.

PHILLIPS, S., ANDERSON, P., SCHAPIRE, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions, *Ecol. Model.*, 190 (3-4) 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

RHOUMA, T. B., et MARIEM, H. B. (2022). Identification des principaux déterminants environnementaux et modélisation de la distribution potentielle de pin d'Alep et impact du changement

climatique en Tunisie. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 10(1).

THUILLER, S., LAVOREL, M.B., ARAUJO, M.T., SYKES, I.C., PRENTICE, B. (2005), Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 102: 8245-8250.

ZERBO, G.C. (2011). Influence du climat sur la dynamique de peuplement de *Acacia senegal* (L) Willd. au Burkina Faso. Université de Ouagadougou, mémoire de DEA. 62p.