

# Influence des changements climatiques sur l'aire de distribution écologique d'*Afzelia africana* Sm. ex Pers. dans les terroirs ruraux de Tchaoudjo

## Influence of climate change on the ecological distribution area of *Afzelia africana* Sm. ex Pers. in the rural territories of Tchaoudjo

Issifou Sim-Bassi Amadou\*, Mahamadou Illou, Tchaa BoukpeSSI

Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales (LaRBE), Département de géographie, Faculté des Sciences Humaines et de la Société (FSHS), Université de Lomé Togo

Auteur correspondant **Issifou Sim-Bassi AMADOU** : [simbassi228@gmail.com](mailto:simbassi228@gmail.com).

### ORCID ID des Auteurs

**Issifou Sim-Bassi AMADOU\*** (Orcid : <https://orcid.org/0009-0000-5736-0320>, [simbassi228@gmail.com](mailto:simbassi228@gmail.com)), **Mahamadou ILLOU** (Orcid : <https://orcid.org/0009-0006-3406-4442>, [illou.mahamadou@gmail.com](mailto:illou.mahamadou@gmail.com)), **Tchaa BOUKPESSI** (Orcid : <https://orcid.org/0009-0005-0579-6874>, [tchaa.boukpeSSI@gmail.com](mailto:tchaa.boukpeSSI@gmail.com))

**Comment citer l'article** : Amadou, I. S.-B., Illou, M., & BoukpeSSI, T. (2026). Influence des changements climatiques sur l'aire de distribution écologique d'*Afzelia africana* Sm. ex Pers. dans les terroirs ruraux de Tchaoudjo. *Revue Ecosystèmes Et Paysages*, 6(1). <https://doi.org/10.59384/recopays.tg.v6i1.181>

**Reçut** : 30 septembre 2025

**Accepté** : 20 février 2026

**Publié** : 30 juin 2026



**Copyright**: Published under a Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Résumé

Les espèces végétales subissent des effets défavorables en raison des changements climatiques. Cette étude vise à examiner la dynamique spatiotemporelle de l'aire de distribution écologique d'*Afzelia africana* pour comprendre comment l'espèce réagit au changement climatique. Elle contribue ainsi à prévenir sa possible disparition et favorise sa gestion durable. La méthodologie mise en place repose sur la collecte des coordonnées GPS des individus situés dans des carrés d'un kilomètre de côté, ainsi que le téléchargement des variables bioclimatiques à partir de Worldclim. L'analyse est effectuée à l'aide du logiciel Maxent et Arcgis, permettant de distinguer trois types d'aires qui évoluent en réponse aux changements climatiques. Par conséquent, d'ici 2085, l'aire très propice à la présence d'*Afzelia africana* subira une diminution de 66,56 à 82,16 % ; l'aire moyennement favorable perdra entre 26,65 % et 49,51 % ; tandis que l'aire défavorable s'étendra de 0 km<sup>2</sup> à entre 642,77 km<sup>2</sup> et 968,68 km<sup>2</sup>. La croissance annuelle est défavorable pour les zones très favorables (-0,15 % ; -1,81 %) et moyennement favorables (-0,33 % ; -0,72 %). Il est nécessaire de mettre en place des pratiques de gestion durable pour l'espèce et d'effectuer régulièrement des programmes de reboisement.

**Mots clés** : Togo, Tchaoudjo, Changements climatiques, aire de distribution, *Afzelia africana*.

### Abstract

Plant species are experiencing adverse effects due to climate change. This study aims to

examine the spatiotemporal dynamics of the ecological distribution area of *Afzelia africana* to understand how the species responds to climate change. It thus helps prevent its possible disappearance and promotes its sustainable management. The methodology implemented is based on the collection of GPS coordinates of individuals located in squares of one kilometre on each side, as well as the downloading of bioclimatic variables from Worldclim. The analysis is conducted using Maxent and Arcgis software, allowing for the distinction of three types of areas that evolve in response to climate change. Therefore, by 2085, the area highly suitable for the presence of *Afzelia africana* will decrease by 66.56 to 82.16% ; the moderately favourable area will lose between 26.65% and 49.51% ; while the unfavourable area will expand from 0 km<sup>2</sup> to between 642.77 km<sup>2</sup> and 968.68 km<sup>2</sup>. The annual growth is unfavourable for very favourable areas (-0.15% ; -1.81%) and moderately favourable areas (-0.33% ; -0.72%). It is necessary to implement sustainable management practices for the species and to regularly carry out reforestation programs.

**Keywords :** Togo, Tchaoudjo, Climate change, distribution area, *Afzelia africana*,

## 1. Introduction

Les espèces végétales poussent et se développent dans les conditions écologiques qui leur sont favorable. C'est le cas d'*Afzelia africana* qui selon Donkpegan et al. (2014), se développe dans les savanes soudaniennes, dans les forêts galeries, dans les forêts sèches et dans les savanes boisées. Ces écosystèmes peuvent être dégradés dans un délai relativement court par le changement climatique, l'érosion des sols et l'explosion démographique (Abdou, 2022). Malheureusement, selon Arar (2020), les visions globales sur le climat mondial révèlent qu'un réchauffement aura lieu dans le futur. Or selon Hedidi (2010), le climat, sa variabilité et l'évolution de sa structure jouent un rôle déterminant dans la croissance, le développement, l'évolution et la régénération des écosystèmes forestiers. Avec chaque augmentation du réchauffement climatique, le risque de perte de la biodiversité et de l'extinction d'espèces augmente (GIEC, 2022). De plus les espèces semblent présenter des distributions en mouvement, en réponse aux perturbations climatiques auxquelles elles font face (Andrieuxes, 2016). Selon Houetcheignon (2016), de nos jours, certaines espèces deviennent de plus en plus rares au niveau de leurs habitats naturels et avec un réchauffement moyen mondial supérieur à 2,5 °C, 20 à 30% des espèces végétales et animales seront menacées d'extinction. C'est le cas d'*Afzelia africana* qui malgré son statut d'espèce menacée d'extinction, se raréfie de jour en jour dans le paysage rural du sud de la préfecture de Tchaoudjo. Il est important de comprendre l'évolution de la niche écologique de chaque espèce et de fournir une base de données solide pour la prise de décision (Sinadouwirou et al. 2022). En ce sens, ce travail vise à analyser la dynamique spatiotemporelle de l'aire de distribution écologique d'*Afzelia africana* afin de comprendre le comportement de l'espèce face au changement climatique dans le but 16'' d'éviter sa probable extinction et assurer sa gestion durable.

## 2. Matériel et Méthodes

### 2.1 Description du milieu d'étude

La zone (figure 1), est localisée entre 0° 53'' et 1°16'' de longitude est et 9°0'' et 8°38'' de latitude nord. C'est la partie la plus méridionale de la préfecture de Tchaoudjo. Son milieu naturel est caractérisé par une plaine constituant le bassin versant de Mono et un plateau peu accidenté constatant la partie orientale du plateau de Fazao-Malfakassa.

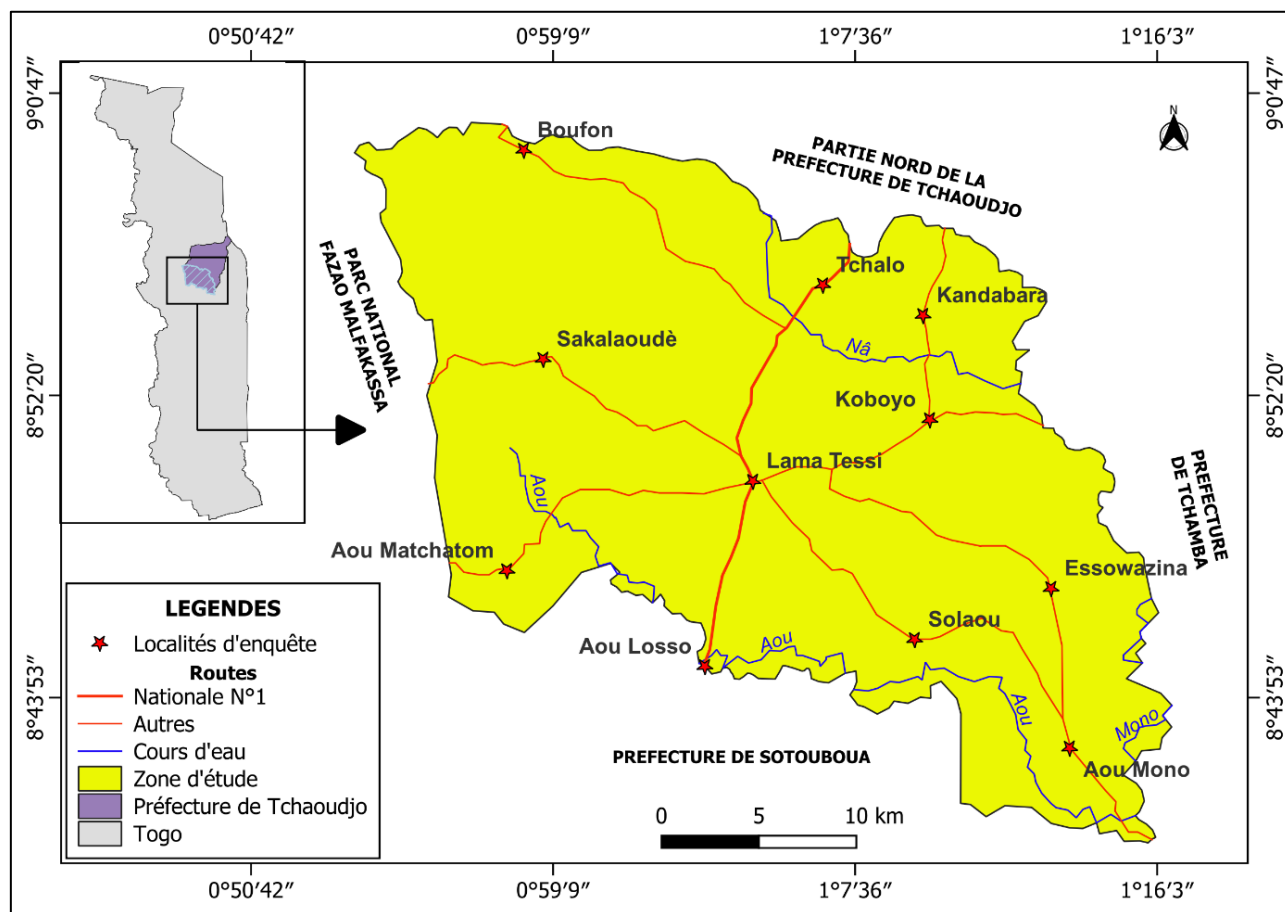


Figure 1 : carte de localisation de la zone d'étude

Source: Google Map, 2024 et Google Earth, 2024

La zone est majoritairement dominée par des sols ferralitiques et ferrugineux. Située dans la zone de climat tropical de type soudanien, cette région est caractérisée par un régime pluviométrique unimodal avec des précipitations annuelles comprises entre 1000 et 1600 mm, mais concentrées sur seulement 7 mois. Les températures sont toujours élevées variant entre 25°C et 40 °C qui est la résultante d'une forte insolation et d'une faible humidité relative (Démakou, 2009). Le couvert végétal y est essentiellement formé des savanes sur lesquelles l'emprise humaine est très forte. La zone compte 57 288 habitants et totalement rurale. L'agriculture constitue la principale activité économique à laquelle s'ajoutent l'élevage, le commerce, l'art et la chasse. Cette population a pendant longtemps entretenu des relations avec *Afzelia africana* dans plusieurs domaines comme socioéconomiques et culturels.

## 2.2. Collecte des données

Un échantillonnage stratifié est adopté pour ce travail (Coly et al. 2020 ; Aouadj et al. 2020 et Gomez, 2022). La zone d'étude constitue la première strate et les cantons constituent la seconde strate. Dans chaque canton quelques localités sont retenues comme des sites de relevés par un échantillonnage orienté (Bechir et Kabore-Zoungranac, 2012 ; Traore et al. 2020). Le choix des villages d'enquête (figure 1) est basé sur le critère de la répartition géographique en vue d'assurer un bon maillage de la zone et la présence relativement importante des pieds d'*Afzelia africana*. Ensuite, tous les sites qui constituent la troisième strate sont quadrillés en mailles carrées d'un kilomètre de côté en référence aux travaux de W. Atakpama et al. (2022) et Talhaoui et Zentout

(2023). Au total, 220 mailles sont retenues soit 20 par site, choisies de façon aléatoire et explorées systématiquement. Chaque maille choisie et qui ne contient pas au moins un pied est remplacée par son plus proche voisin sur base de la présence d'au moins un pied d'*Azelia africana*. Les coordonnées du système de positionnement global (GPS (*Global Positioning System*) de chaque pied d'*Azelia africana* présent est pris. Au total 1136 points GPS des pieds d'*Azelia africana* sont collectés et constitués en une base de données. Cette base de données a été complétée par 6818 points de présence des individus disponibles sur le site de *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) téléchargés à travers le lien <http://www.gbif.org/species>. Ce site est communément sollicité dans le cadre de la modélisation de niche écologique (Assogbadjo, 2021 ; Houetchegnon, 2016 ; Karimou et Toko, 2019).

Les variables bioclimatiques actuelles (1970 - 2000) de résolution 30 secondes sont téléchargées sur Wordclim (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>). Les variables bioclimatiques futures (horizon 2085) de même résolution sont téléchargées sur le site AfriClim (<https://webfiles.york.ac.uk/KITE/AfriClim>). Ces sites sont utilisés par plusieurs chercheurs, il s'agit de Keyssa (2018) ; Karimou et Toko (2019) et Sinadouwirou et al. (2022). Quant aux projections à l'horizon 2085, le modèle RCP est utilisé. En effet, ce modèle est basé sur quatre scénarios comptant qui sont : RCP 2.6, RCP 6.0, RCP 4.5 et RCP 8.5. Cependant, les deux derniers scénarios ont été utilisés car ils sont les plus plausibles pour les pays du golfe de Guinée (Wotto, 2020). Le RCP 4.5 est un scénario optimiste qui prévoit une baisse relative de température, alors que le RCP 8.5 est un scénario pessimiste qui prévoit un réchauffement croissant de la terre (Dossou, 2021). Les variables bioclimatiques de ces scénarios sont vingt et un (21) (tableau 1).

Tableau 1. Les variables bioclimatiques utilisées

| Variables | Signification                                                  |
|-----------|----------------------------------------------------------------|
| Bio 1     | Température moyenne annuelle                                   |
| Bio 2     | Portée diurne moyenne (moyenne mensuelle (temp max- temp min)) |
| Bio 3     | Isothermalité (Bio 2 / Bio 7) (*100)                           |
| Bio 4     | Saisonnalité de la température (écart type*100)                |
| Bio 5     | Température maximale du mois le plus chaud                     |
| Bio 6     | Température minimale du mois le plus froid                     |
| Bio 7     | Plage annuelle de température (Bio 5-Bio 6)                    |
| Bio 10    | Température moyenne du quartier le plus chaud                  |
| Bio 11    | Température moyenne du quartier le plus froid                  |
| Pet       | Evapotranspiration potentielle                                 |
| Bio 12    | Précipitations annuelles                                       |
| Bio 13    | Précipitation du mois le plus humide                           |
| Bio 14    | Précipitation du mois le plus sec                              |
| Bio 15    | Saisonnalité des précipitations (coefficient des variations)   |
| Bio 16    | Précipitation du trimestre le plus humide                      |
| Bio 17    | Précipitation du quart le plus sec                             |
| Dm        | Nombre de mois secs                                            |
| Llds      | Longueur de plus longue Saison sèche                           |
| Miaq      | Indice d'humidité au quart                                     |
| Mimq      | Indice d'humidité humide du quart                              |
| Mi        | Indice d'humidité annuel                                       |

Source : AfriClim, 2023, (<https://webfiles.york.ac.uk/KITE/AfriClim>),

2.3. Analyse des données

L’analyse des aires de distribution sous l’effet du changement climatique est faite au moyen de la méthode du Maximum Entropy (logiciel maxEnt) (Phillips et al. 2006) et les logiciels cartographiques (QGIS et ArcGIS). MaxEnt utilise une approche statistique appelée entropie maximale pour faire des prévisions à partir des données de présence seulement. Il estime la distribution la plus uniforme/étendue (maximum entropie) des points d'occurrence au sein de la zone d'étude, en tenant compte de la contrainte de la valeur prévue de chaque variable environnementale, des facteurs prédictifs sous cette distribution estimée et des valeurs moyennes pour le jeu de données d’occurrence (Wotto, 2020). Les variables importantes pour la distribution de l’espèce ont été sélectionnées en se basant sur leurs contributions, le test de Jackknife, mais surtout sur l’écologie de l’espèce (Wotto, 2020). En effet, les variables fortement corrélées ne sont pas prises en compte dans les modèles (Assogbadjo, 2021).

Les données provenant du site GBIF sont prétraitées et les données aberrantes, les doublons ou les données sans coordonnées ont été supprimées. Elles viennent compléter les données de terrains (les points GPS recensés) pour former un seul fichier. Ce fichier est converti en degré décimal dans le tableur Excel et enregistré en format « .csv ». Ensuite les variables environnementales sont converties en format « ascII » dans Arc GIS. Ensuite les coordonnées géographiques de présence de l’espèce converties en fichier csv et les enveloppes bioclimatiques sont introduites dans l’algorithme de traitement MaxEnt.

Les données intégrées dans l’algorithme MaxEnt ont permis d’évaluer le modèle en interprétant les valeurs de l’AUC (Saliou et al. 2015). La méthode de validation croisée basée sur l’utilisation de l’Area Under the Curve (AUC) de Receiver Operating Characteristics (ROC) a été préférée (Wotto, 2020). Pour la validation des modèles avec l’AUC, les valeurs comprises entre 0,5 et 0,7 correspondent à des modèles médiocres ou mauvais, entre 0,7 et 0,8 à des modèles corrects ou passable, et respectivement entre 0,8 et 0,9 puis 0,9 et 1, le modèle est bon et très bon (excellent) (Wotto, 2020 ; Abdou et al. 2021). En fin le modèle de la niche écologique est généré en exécutant le logiciel avec les paramètres par défaut.

Les résultats de modélisation produits par MaxEnt ont été importés dans Arc GIS 10.1 pour cartographier les habitats favorables et défavorables à l’espèce aussi bien pour les conditions climatiques actuelles que futures (horizon 2085). Avec l’outil d’analyse spatiale d’Arc GIS, l’étendue de chaque type d’aires sous les conditions climatiques présentes et futures est calculée dans le logiciel à partir du nombre de pixels qu’occupe chaque type. Ainsi la proportion (P), les taux des changements globaux (Tg) et les taux annuels d’expansion spatiale (Tsp) de chaque type d’aires de distribution géographique sont déterminés. Le tableau 2 présente leur expression mathématique.

Tableau 2. Présentation des formules

| Numéros | Formules                                                                                                                                                                               | Sources                                   |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1       | $P = \frac{Sta}{ST} \times 100$ <p>Avec P, proportion ; Sta, surface d’un type d’aire de distribution géographique et ST, surface totale.</p>                                          | (Koumoi 2016)                             |
| 2       | $Tg = \frac{(S2-S1)}{S1} \times 100$ <p>Avec : S1 = surface initiale et S2 = la surface à l’année considérée,</p>                                                                      | (Thiaw et al. 2021 ; Konkobo et al. 2023) |
| 3       | $Tps = \frac{(lnS2 - lnS1)}{NlnE} \times 100$ <p>Avec : S1 = surface initiale et S2 = la surface à la l’année considéré, N = le nombre d’années, E = base de logarithme (2,71828).</p> | (Timite et al. 2023)                      |

### 3. Résultats

#### 3.1. Contribution des variables bioclimatiques

L'analyse des corrélations que présente le tableau 3 a permis d'identifier sept (14) variables qui contribuent le plus à la modélisation. Les variables bio14 (31,1%), mimq (22,22%), miaq (15,9%) et dm (10,2%) ont une forte contribution dans la répartition des individus d'*Azelia africana*. Les variables bio14 (23,1%), mimq (21,3%), Bio 17 (26,3%) ont une forte importance de permutation. Huit (08) variables ont une contribution nulle et neuf (09) une importance de permutation nulle (tableau 3).

Tableau 3. Contribution des variables

| Variables | Contribution (%) | Importance de la permutation (%) |
|-----------|------------------|----------------------------------|
| bio14     | 31.1             | 23.1                             |
| mimq      | 22.2             | 21.1                             |
| miaq      | 15.9             | 8.1                              |
| dm        | 10.2             | 0                                |
| pet       | 7                | 9.6                              |
| bio3      | 3.8              | 7.4                              |
| bio15     | 3.5              | 0.1                              |
| bio2      | 2.8              | 0                                |
| bio13     | 1.9              | 3.8                              |
| bio7      | 0.9              | 26.3                             |
| llds      | 0.6              | 0.1                              |
| bio11     | 0.1              | 0.1                              |
| bio17     | 0.1              | 0.2                              |
| bio12     | 0                | 0.1                              |
| mi        | 0                | 0                                |
| bio6      | 0                | 0                                |
| bio4      | 0                | 0                                |
| bio16     | 0                | 0                                |
| bio5      | 0                | 0                                |
| bio10     | 0                | 0                                |
| bio1      | 0                | 0                                |

Source : Travaux de terrain et de laboratoire, 2024

Au total, 14 variables ont été retenues après avoir tourné 5 fois les modèles et en se basant sur l'écologie de l'espèce et le test de Jackknife. Les variables environnementales qui ont le gain le plus élevé lorsqu'elles sont utilisées seules sont bio13, 14, 3,15 et 17, miaq et minq avec des gains respectifs supérieurs à 1,5. Le reste des variables ont des gains compris entre 1 et 1,5 à l'exception de pet et bio11 qui ont chacun un gain inférieur à 1. Ces variables climatiques expliquent mieux la distribution d'*Azelia africana* dans le milieu (Figure 2).

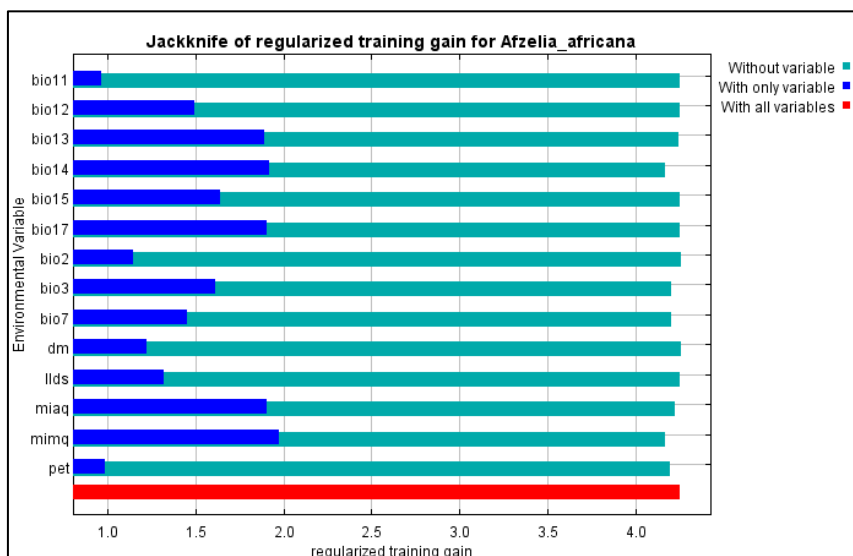


Figure 2. Test de Jackknife sur la contribution des modèles

Source : Travaux de terrain, 2024

### 3.2. Evaluation du modèle

L'algorithme MaxEnt est évalué en interprétant les valeurs de l'AUC (figure 3). La valeur de l'AUC (Figure 3) est de 0,998 donc le modèle est excellent. Il y'a donc une adéquation entre la prédiction du modèle et les données utilisées.

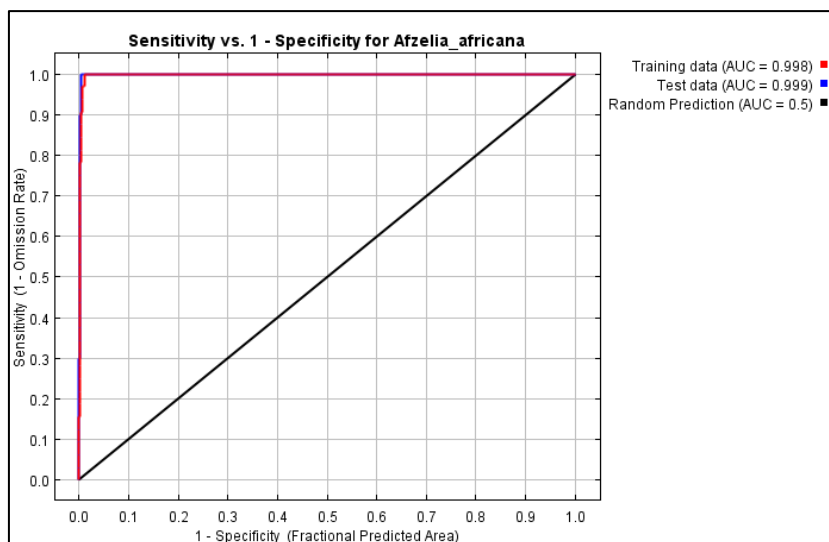
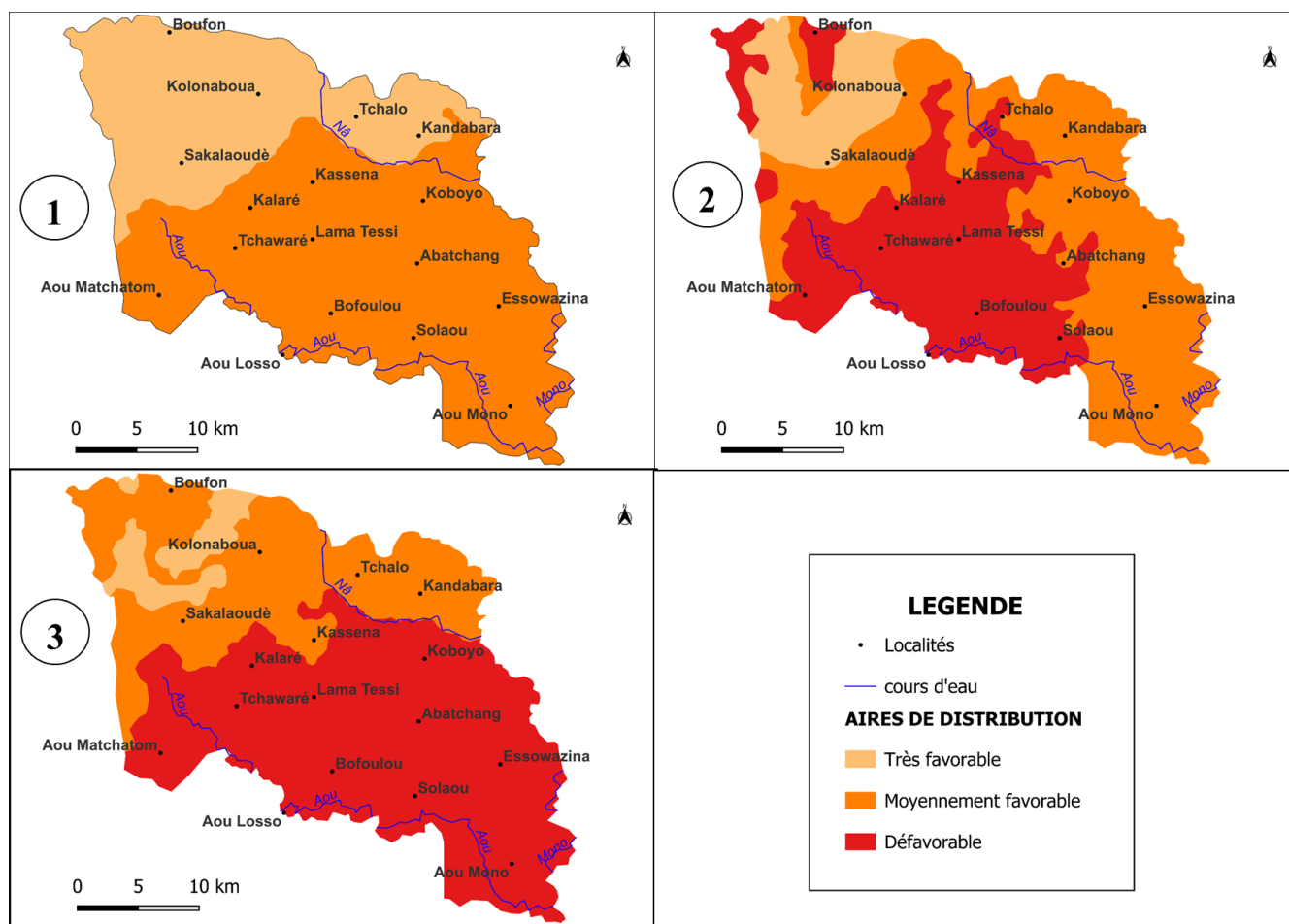


Figure 3. Valeur de l'AUC du modèle

Source : Travaux de terrain, 2024.

### 3.3. Aire de distribution actuelle et future

Les aires de distribution actuelles et futures d'*Afzelia africana* varient dans le temps et dans l'espace. La figure présente les aires de distribution de l'espèce. La figure présente trois cartes de distribution de l'espèce à savoir la carte N°1 présente les types d'aire dans les conditions actuelles du climat ; les cartes N°2 et N°3 présentent les conditions climatiques futures selon respectivement le scénario optimiste (45) et pessimiste (85).

Figure 4. Aires de distribution d'*Afzelia africana*

La carte 1 présente deux types d'aire (aire très favorable et moyennement favorable). Les cartes 2 et 3 présentent trois aires (très favorable, moyennement favorable et défavorable) avec des superficies différentes. Le tableau 4 présente le bilan des superficies des différentes aires de distribution.

Tableau 4. Bilan des conditions de distribution d'*Afzelia africana*

| Types d'aire de distribution | Climat actuel          |       | Climat suivant le scénario 45 |       | Climat suivant le scénario 85 |       |
|------------------------------|------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
|                              | Sta (km <sup>2</sup> ) | P (%) | Sta (km <sup>2</sup> )        | P (%) | Sta (km <sup>2</sup> )        | P (%) |
| Très favorables              | 543,01                 | 33,9  | 181,56                        | 11,36 | 96,89                         | 6,06  |
| Moyennement favorables       | 1055,49                | 66,0  | 774,16                        | 48,43 | 532,93                        | 33,34 |
| Défavorables                 | 0,00                   | 0     | 642,77                        | 40,21 | 968,68                        | 60,60 |

Source : Travaux de terrain, 2024

La figure 5 présente les types d'aires de distribution de l'espèce qui varient suivant les variations climatiques, Il s'agit des aires très favorables, moyennement favorables et défavorables. L'aire de distribution très favorable la plus importante se trouve dans les conditions climatiques actuelles (33,97%) suivie de celle de scénario 45 (11,36%). Le scénario 85 présente la plus importante aire défavorable qui est de 60,60% suivie des 40,21% du scénario 45.

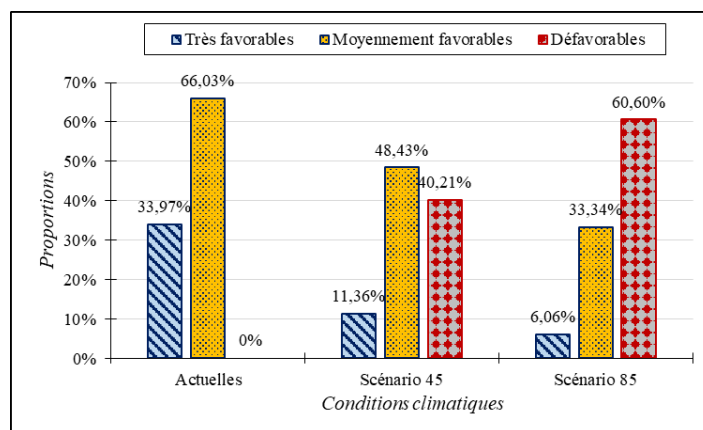


Figure 5. Répartition des aires de distribution actuelle

Source : Travaux de terrain, 2024

### 3.3.1. Aires de distribution dans les conditions climatiques actuelles

Les terroirs ruraux de Tchaoudjo sont relativement favorables à la présence de l'espèce, la figure 6 présente la répartition des différentes aires dans les conditions actuelles du climat. Ainsi, l'aire très favorable à la présence de l'espèce reste la plus vaste avec 66,03% du territoire suivi de l'aire moyennement favorable avec 33,9%. L'aire défavorable est de 0%.

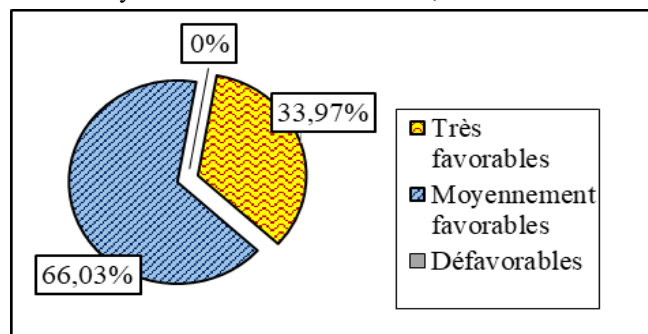


Figure 6. Répartition des aires de distribution actuelle

Source : Travaux de terrain, 2024

### 3.3.2. Aires de distribution future suivant le scénario 45 (optimiste)

La variation climatique affecte la présence de l'espèce dans certaines zones. D'après la figure 7, la répartition des différentes aires dans les conditions climatiques du scénario 45 montre que l'aire très favorable à la présence de l'espèce reste la moins vaste avec 11,36% du territoire de l'aire moyennement favorable (48,43%) est la plus vaste suivie de l'aire défavorable qui est à 40,21%.

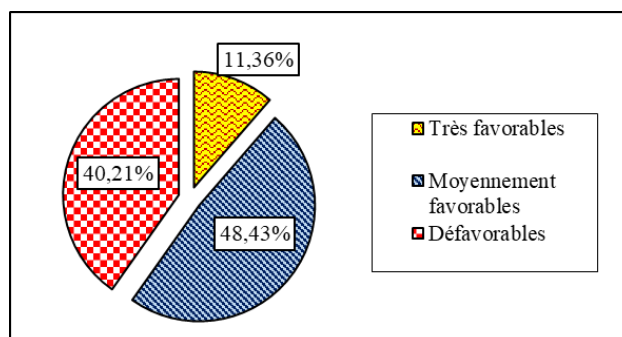


Figure 7. Répartition des aires de distribution future suivant le scénario 45  
Source : Travaux de terrain, 2024

3.3.3. Aires de distribution future du scénario 85 (pessimiste)

La variation climatique affecte la présence de l’espèce dans certaines zones. La figure 8 présente la répartition des différentes aires dans les conditions du scénario 85. Son analyse ressort que l’aire défavorable à la présence de l’espèce reste la plus importante avec 60,60% du territoire suivi de l’aire moyennement favorable avec 33,34%. L’aire très favorable est faible avec 6,06%

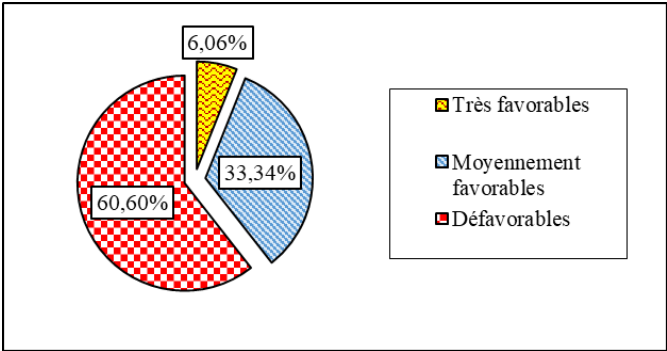


Figure 8. Répartition des aires de distribution future scénario 85  
Source : Travaux de terrain, 2024

3.4. Dynamique des aires de distribution actuelles et du scénario 45 (évolution optimiste du climat)

Suivant les variations des conditions climatiques, les aires de distribution évoluent. Le tableau 5 présente selon la variation des aires de distribution actuelle et du scénario 45 que dans 55 ans, l’aire très favorable à la présence d’*Afzelia africana* va connaître une perte de 361,45 km<sup>2</sup> soit 66,56% de cette aire. L’aire moyennement favorable perd 26,65% de sa surface, soit 281,33 km<sup>2</sup>. L’aire défavorable passe de 0 km<sup>2</sup> à 642,77 km<sup>2</sup> avec un gain de 642,77%.

Tableau 5 : variation des aires de distribution actuelle et du scénario 45

| Types d’aires de distribution | Climat actuel      |        | Climat suivant le scénario 45 |        | Evolution          |         |
|-------------------------------|--------------------|--------|-------------------------------|--------|--------------------|---------|
|                               | en Km <sup>2</sup> | en %   | en Km <sup>2</sup>            | en %   | en Km <sup>2</sup> | en %    |
| Très favorables               | 543,01             | 33,90% | 181,56                        | 11,36% | -361,45            | -66,56% |
| Moyennement favorables        | 1055,49            | 66,00% | 774,16                        | 48,43% | -281,33            | -26,65% |
| Défavorables                  | 0                  | 0%     | 642,77                        | 40,21% | 642,77             | 100,00% |

NB : (-) = perte (+) = gain

Source : Travaux de terrain, 2024

3.4.1. Evolutions des aires de distribution actuelles et du scénario 85 (évolution pessimiste)

Les aires de distribution évoluent suivant les variations des conditions climatiques. Suivant la variation des aires de distribution actuelle et du scénario 85 (tableau), dans 55 ans, l’aire très favorable à la présence d’*Afzelia africana* va connaître une perte de 446,12 km<sup>2</sup> soit 82,16% de cette aire. L’aire moyennement favorable gagne 49,51% de sa surface, soit 522,56 km<sup>2</sup>. L’aire défavorable passe de 0 à 968,68 km<sup>2</sup> avec un gain de 96868% (Tableau 6).

Tableau 6. Variation des aires de distribution actuelle et du scénario 85

| Types d’aires de distribution | Climat actuel      |      | Climat suivant le scénario 85 |      | Evolution          |      |
|-------------------------------|--------------------|------|-------------------------------|------|--------------------|------|
|                               | en Km <sup>2</sup> | en % | en Km <sup>2</sup>            | en % | en Km <sup>2</sup> | en % |

|                        |         |        |        |        |         |           |
|------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| Très favorables        | 543,01  | 33,90% | 96,89  | 6,06%  | -446,12 | -82,16%   |
| Moyennement favorables | 1055,49 | 66,00% | 532,93 | 33,34% | -522,56 | -49,51%   |
| Défavorables           | 0       | 0,00%  | 968,68 | 60,60% | 968,68  | 96868,00% |

NB : (-) = perte (+) = gain

Source : Travaux de terrain, 2024

### 3.4.2. Changements globaux des aires de distribution

Les taux des changements globaux (Tg) présentés par le tableau 7 relèvent que les aires défavorables connaissent des gains élevés, 40,21% pour le scénario optimiste (45) et 60,59 % pour celui pessimiste (85). L'aire très favorable perd 66,56% pour le scénario 45 et 82,16% pour celui de 85. L'aire moyennement favorable perd des taux de 26,65% et 49,51% respectivement pour les scénarios 45 et 85.

Tableau 7. Changements globaux

| Aires                  | Scénario 45 | Scénario 85 |
|------------------------|-------------|-------------|
| Très favorables        | -66,56%     | -82,16%     |
| Moyennement favorables | -26,65%     | -49,51%     |
| Défavorables           | +40,21%     | +60,59%     |

NB : (-) = perte (+) = gain

Source : Travaux de terrain, 2024

### 3.4.3. Expansion spatiale annuelle des aires de distribution

Les taux annuels d'expansion spatiale (Tesp) présentés dans le tableau 8 montre que l'expansion annuelle est négative pour l'aire très favorable (-0,15% ; -1,81%) et moyennement favorable (-0,33% ; -0,72%). Elle est positive pour l'aire défavorable (6,80% ; 7,23%). L'expansion annuelle est très importante pour le gain des aires défavorables.

Tableau 8. Expansion spatiale annuelle

| Aires                  | Scénario 45 | Scénario 85 |
|------------------------|-------------|-------------|
| Très favorables        | -1,15%      | -1,81%      |
| Moyennement favorables | -0,33%      | -0,72%      |
| Défavorables           | +6,80%      | +7,23%      |

NB : (-) = perte (+) = gain

Source : Travaux de terrain, 2024

## 4. Discussion

La modélisation de la niche écologique d'*Afzelia africana* est réalisée à partir du programme Maxent (Maximum Entropy) (Phillips et al. 2006 ; Dossou, 2021) et des scénarios optimistes (45) et pessimistes (85) du changement climatique. Elle est axée fondamentalement sur le logiciel Maxent. Ce choix se justifie par l'adoption du même logiciel par d'autres chercheurs pour le même objectif (Fandohan et al. 2015 ; Zakari, 2015). C'est un puissant modèle de prédiction des niches écologiques qui prend uniquement en compte les données de présence en complément des variables environnementales (Wotto, 2020). Selon Assogbadjo (2021) ; Houetchegnon (2016) et Dossou (2021), les modèles de prédiction de l'impact des changements climatiques sur la répartition géographique des espèces ont des limites. Il s'agit des incertitudes liées à l'utilisation des modèles, des difficultés à paramétrer les interactions écologiques, des réponses idiosyncratiques individuelles des espèces aux changements climatiques, des limitations de disséminations spécifiques à chaque espèce, de la plasticité des limites physiologiques et des réponses adaptatives des agents disséminateurs. Malgré les limites prélevées, MaxEnt fonctionne mieux que plusieurs d'autres méthodes en termes de précision prédictive (Arar, 2020).

Pour prédire la dynamique de la niche écologique de l'espèce dans les conditions climatiques actuelles et futures, quatorze (14) variables sont utilisées. Dossou (2021) a utilisé six (06) variables pour la distribution de *Monodora myristica*; Wotto (2020) a pris cinq pour la niche écologique de *Detarium senegalense* J.F.Gmel. Cette variation de l'effectif des variables serait liée aux conditions climatiques distinctes de chaque zone et aux caractéristiques écologiques de chaque espèce étudiée. Les variables climatiques à savoir : bio14 (31,1%), mimq (22,22%), miaq (15,9%) et dm (10,2%) ont une forte contribution dans la distribution de l'espèce. Donc la distribution géographique d'*Afzelia africana* est principalement influencée par les facteurs climatiques. Ce résultat confirme les résultats de Fandohan et al. (2013,) sur la distribution du *Tamarindus indica* au Bénin. Les changements climatiques sont l'une des menaces qui pèsent aujourd'hui sur la survie de la plupart des espèces végétales (Dossou, 2021). Ceci prouve que le climat joue un rôle important dans la distribution et la survie des espèces végétales de manière générale et les ligneux en particulier. Habou et al. (2021) utilisent des variables Bio19 (Précipitations du trimestre le plus froid), Bio13 (Précipitations de la période la plus humide), Bio10 (Température moyenne du trimestre le plus chaud) Bio3 (Isothermalité (Bio1/Bio7), Bio5 (Température maximale de la période la plus chaude) et Bio15 (Saisonnalité des précipitations (Coefficient de variation) et Bio11 (Température moyenne du trimestre le plus froid) ; Keyssa (2018) se sert de Bio12 (Précipitations annuelles totales), Bio9 (Température moyenne du trimestre le plus sec), Bio13 (Précipitations du mois le plus humide), Alt (Altitudes), Bio16 (Précipitations du trimestre le plus humide), Bio5 (Température maximale du mois le plus chaud), et Bio18 (Précipitations du trimestre le plus chaud) et bien d'autres chercheurs comme Fandohan et al. (2015) ; Karimou et Toko (2019) et Sinadouwirou et al. (2022) ont utilisé des différentes variables qui ressemblent partiellement aux variables utilisées dans ce travail. Ceci s'explique par les études axées sur les ligneux, l'utilisation des mêmes sources de données, les similarités des différentes méthodologies adoptées pour la validation des variables, l'utilisation d'une même source d'information et les différentes exigences écologiques des espèces.

Dans ce travail le modèle est excellent avec une valeur de l'AUC (0,998). Fandohan et al. (2013) ; Raherinjatovoarison (2017) ; Wotto (2020) et Keyssa (2018) ont trouvé des valeurs relativement inférieures à celles de ce travail mais toutes bonnes ; il s'agit respectivement de (0,91), (0,887), (0,832) et (0,988). L'égalité sensible de ces valeurs s'explique par la conformité des procédures suivies dans les travaux de modélisation et une bonne efficacité d'évaluation du modèle.

La présente étude ressort une niche écologique de l'*Afzelia africana* qui se subdivise en trois aires de distributions dans la zone à l'horizon 2085. Il s'agit de l'aire très favorable qui est propice à la présence de l'espèce ; l'aire moyennement favorable (passablement propice à l'existence de l'espèce) et l'aire défavorable (non propice à l'installation des pieds d'*Afzelia africana*). Assogbadjo (2021) et Dossou (2021) présentent chacun trois aires qui concordent parfaitement avec celles de ce travail. Houetchegnon, (2016) présente deux aires de distributions de convenance élevée correspond à distribution très favorable dans ce travail et de convenance faible qui correspond à distribution défavorable. Raherinjatovoarison (2017) détermine cinq classes à savoir distribution très favorable, favorable, moyennement favorable, peu favorable et défavorables, bien que supérieures en effectifs que celles de ce travail, elles incluent ces dernières. La concordance ou la divergence des effectifs de classes d'aires de distribution est liée à l'objectif de chaque travail, les conditions du milieu et les superficies des zones étudiées. Dans les conditions actuelles du climat toute la zone est relativement propice à la présence de l'espèce (100%), donc l'espèce tolère les variations actuelles du climat. Suivant le scénario optimiste (45), l'aire défavorable est presque à la moitié du territoire (40,21%). Pour le scénario pessimiste (85), l'aire défavorable est à 60,60%. L'aire de distribution défavorable connaît une dynamique positive, elle passe de 0% à 40,21% soit à 60,60% suivant les conditions climatiques futures. Ces résultats confirment ceux de Raherinjatovoarison. (2017) qui montrent que les zones défavorables au développement du *Tsipery* augmentent et les zones favorables à son développement présentent une diminution de surfaces ; de Karimou et al. (2019) sur la niche écologique de *Diospyros mespiliformis* à l'horizon 2055 qui montre également la diminution de la niche écologique favorable à la présence de

*Diospyros mespiliformis*. Mouillard (2020) présente des résultats similaires à ceux de ce travail, selon lui, le changement climatique pourrait avoir des conséquences néfastes sur l'habitat potentiel des herbiers de zostères de la façade française Manche-Atlantique. La conformité des résultats prouve que les espèces des différentes études ne supportent pas le changement climatique. La dynamique régressive des zones favorables à la présence des espèces peut s'expliquer par l'impact important et négatif des conditions climatiques sur l'aire de distribution des espèces végétales et l'incapacité de ces espèces à tolérer les conditions extrêmes des paramètres climatiques, ce qui les oblige au rétrécissement de leur aire de distribution géographique.

## 5. Conclusion

Ce travail a identifié les types d'aires écologiques d'*Azelia africana* et leur dynamique en réponse au changement climatique. Au fur et à mesure que les conditions climatiques évoluent, l'aire propice à la survie de l'espèce diminue au profit de celle qui est défavorable à sa présence. Cela démontre que le changement climatique influe défavorablement sur la survie de cet arbre en accélérant son processus d'extinction. Si cet arbre n'est pas protégé, il risque de s'éteindre, entraînant un déséquilibre écologique et une perte de connaissances culturelles. Pour éviter de telles pertes, il est essentiel d'assurer sa gestion durable. Dans ce cas, il serait judicieux de prévenir cette diminution de son aire de distribution favorable en éduquant le public sur les bonnes pratiques des prélèvements des organes, en reboisant régulièrement l'espèce, en créant des forêts communautaires de cet arbre, etc.

## Remerciements

Ce travail a été possible grâce aux concours et aux soutiens de plusieurs personnes. Que celles-ci retrouvent ici toute notre gratitude pour avoir contribué énormément à l'élaboration de ce document.

## Contribution des auteurs

| Rôle du contributeur     | Noms des auteurs           |
|--------------------------|----------------------------|
| Conceptualisation        | AMADOU, BOUKPESSI et ILLOU |
| Gestion des données      | AMADOU                     |
| Analyse formelle         | AMADOU                     |
| Enquête et investigation | AMADOU                     |
| Méthodologie             | AMADOU, BOUKPESSI et ILLOU |
| Supervision Validation   | BOUKPESSI et ILLOU         |
| Écriture – Préparation   | AMADOU                     |
| Écriture – Révision      | AMADOU, BOUKPESSI et ILLOU |

## Références

- ABDOU HABOU Maman Kamal (2022) *Aspects ethnobotaniques, variabilité morphologique et écologie de Balanites aegyptiaca (L.) Del. au Niger*. Thèse de doctorat, Université de Diffa, 212p.
- ADJAHOSSOU Sessi Gilles Christian, GOUWAKINNOU Gérard Nounagnon, HOUEHANOU Dèhouégnon Thierry, SODE Akoeugnigan Idelphonse, YAOITCHA Alain Sèakpo, HOUINATO Marcel Romuald Benjamin, SINSIN Brice (2016) Efficacité des aires protégées dans la conservation d'habitats favorables prioritaires de ligneux de valeur au Bénin. *BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES*, N° 328 (2) : 67 - 76.
- ANDRIEUX Bérengère (2016) *Étude de la migration potentielle des niches écologiques liée aux changements climatiques dans la région des parcs nationaux de Frontenac et du Mont-Mégantic*. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, 119p.

- AOUADJ Sid Ahmed, NASRALLAH Yahia, HASNAOUI Okkacha et KHATIR Hadj (2020) La flore rare, endémique et menacée des monts de Saida (Algérie). *Revue Agrobiologia*, 10, (1) : 1986 – 1998.
- ARAR Abdelkrim (2020) *Évaluation de la dynamique des niches écologiques distributionnelles des écosystèmes forestiers du Nord Algérien*. thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 117p.
- ASSOGBADJO Bidossèssi Eliane Juliette (2021) *Diversité et connaissances endogènes des espèces utiles issues des systèmes agroforestiers riverains du noyau central de la Forêt Classée de la Lama au sud du Bénin*. Thèse de Doctorat, l'Université Jean Lorougnon Guede (Cote d'Ivoire), 166p.
- ATAKPAMA Wouyo, BADJARE Bilouktime, WOEKAN Yao Agbelessessi, AMOUZOU Firmin Komi Gédéon, KPADJAO Mazama-Eso, AKPAGANA Koffi (2022) Ecologie des bosquets sacrés de la préfecture de Tone dans la Région des Savanes au Togo, revus espace géographiques société marocaine, 56(2) : 47 – 69.
- BECHIR Ali B. et KABORE-ZOUNGRANA Chantal (2012) Fourrages ligneux des savanes du Tchad : structure démographique et exploitations pastorales. *Journal of Experimental Biology*, 8(2) : 35 – 46.
- COLY Ismaila, DIATTA Tahirou Charles, NGOM Daouda, BADJI Aliou et GUEYE Omar (2020) Caractéristiques de la flore et de la végétation ligneuses des parcs agroforestiers de l'arrondissement de Tendouk (Basse Casamance, Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14(5) : 1558 – 1575.
- DEMAKOU Yéndoubé (2009) *Paysages végétaux, flore et dynamique des écosystèmes végétaux de la région des savanes au Nord-Togo*. Thèse de Doctorat en géographie, Université de Lomé, 210p.
- DONKPEGAN Armel S. L., HARDY Olivier J., LE JEUNE Philippe, OUMOROU Madjidou, DAÏNOU Kasso, DOUCET Jean-Louis (2014) Le Point sur : Un complexe d'espèces d'*Afzelia* des forêts africaines d'intérêt économique et écologique (synthèse bibliographique). *Bio-technol. Agron Soc. Environ*, 18 (2) : 233-246
- DONKPEGAN Armel S. L., HARDY Olivier J., LEJEUNE Philippe, OUMOROU Madjidou, DAÏNOU Kasso, DOUCET Jean-Louis (2014) Le Point sur : Un complexe d'espèces d'*Afzelia* des forêts africaines d'intérêt économique et écologique (synthèse bibliographique, Bio-technol. Agron. Soc. Environ, 18(2), pp. 1-14.
- DOSSOU D. Idossou Marthe (2021) *Distribution géographique, forme d'utilisation et modélisation de l'habitat de Monodora myristica (Gaertn, 1817) Dunal annonaceae, dans la région guinéo-congolaise au Sud-Bénin*. Thèse de Doctorat en géographie, Université D'abomey-Calavi, 212p.
- FANDOHAN Adandé Belarmain, KOUNDOUONON Moutouama Jacob, BIAOU Samadori S. Honoré, GOUWAKINNOU Gérard Nouna-gnon, ADOMOU Cossi Aristide (2015) Le réseau d'aires protégées bénin-togo assure-t-il la conservation de *thunbergia atcorensis* (acanthaceae)? *REV. CAMES*, 03(02) : 25 – 31.
- GIEC (2022) *Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. GIEC, Genève, Suisse, 40p.
- GOMEZ M. Francis Artur (2022) *Caractéristiques structurales, floristique et stock de carbone de la végétation ligneuse des différents modes d'occupation du sol de la commune de Coubalan (département de Bignona)*. Mémoire de master, Université Assane Seck de Ziguinchor, 52p.
- HEDIDI Djahida (2010) *Impact des facteurs climatiques sur la dégradation de la forêt de Djebel Saadia - diagnostic et perspectives d'amélioration*. Mémoire de master, Université Hassiba Ben Bouali Chlef (Algérie), 125p.
- KABORE Sibiry Albert, BASTIDE Brigitte, TRAORE Salifou et BOUSSIM Joseph Issaka (2012) Dynamique du karité, *Vitellaria paradoxa*, dans les systèmes agraires du Burkina Faso. *Bois et forêts des tropiques*, 313(3) : 47 – 59.

- KARIMOU Soufiyanou, TOKO Imorou Ismaïla et AROUNA Ousséni (2019) Impact de la Variabilité Climatique sur la Niche Ecologique de *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.De. dans la Région Soudanienne au Bénin (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, 15(36) : 1 – 19.
- KARIMOU Soufiyanou, TOKO Imorou Ismaïla et AROUNA Ousséni (2019) Impact de la Variabilité Climatique sur la Niche Ecologique de *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.De. dans la Région Soudanienne au Bénin (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, 15(36) : 1 – 19.
- KEYSSA Laidi (2018) *Modélisation de l'aire potentielle de Quercus afares en Algérie et en Tunisie*. Mémoire de master, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou (ALGERIE), 47p.
- KONKOBO Jacques, SOMÉ Yélézouomin Stéphane Corentin et SOMÉ Nifababé Jean (2023) Dynamique des unités physiographiques dans la commune de kouka (Burkina Faso). *Revue espace géographique et société Marocaine*, 73(74) : 87 – 112.
- KOUMOI Zakariyao (2016) *Gestion et planification des territoires ruraux dans le Centre Togo : approche par la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (SIG)*. Thèse de Doctorat, Université de Lomé, 228p.
- MOUILLARD Romain (2020) *Modélisation statistique de la distribution spatiale des espèces Zostera marina et Zostera noltei à l'échelle de la façade Manche-Atlantique*. Mémoire de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST) (AgroSup Dijon), 61p.
- RAHERINJATOVOARISON Dimby (2017) *Modélisation de l'aire de distribution du Piper sp. (Tsiperifery) à Madagascar en vue d'une gestion durable de cette ressource*. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur, Université d'Antananarivo, 83p.
- 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'Écologie*, 70 (4) : 342 – 353.
- 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'Écologie*, 70 (4), pp. 342 – 353.
- SINADOUWIROU Abaro Théophile, GOUWAKINNOU Gérard Nounagnon, DRAMANI Ramdan, ASSEDE Pélagie Eméline, OROU Hidirou, BIAOU Honoré Samadori (2022) Modélisation de la niche écologique de *Detarium microcarpum* Guill & Perr. : Preuve d'adaptation locale à travers le gradient climatique au Bénin, *REV. RAMRES*, 10(02) : 43 – 52.
- TALHAOUI Lemya et ZENTOUT Oumeima (2023) *Ecologie des mammifères dans la région de Mila*. Mémoire de master, Université Abd elhafid Boussouf-Mila, 159p.
- TIMITE Nakouana, KOUA Kadio Attey Noël, KOUAKOU Akoua Tamia Madeleine et BARIMA Yao Sadaïou Sabas (2023) Dynamiques spatio-temporelles des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire de 1990 à 2020 dans un contexte d'expansion de l'anacarde. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 17(2) : 484 – 504.
- TOKO IMOROU Ismaïla (2008) *Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la structure de la végétation le long des toposéquences de bassin supérieur de fleuve Ouémé au Bénin*. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 241p.
- TRAORE Innocent Charles Emmanuel, TINDANO Elycée et OUEDRAOGO Oumarou (2020) Diversité floristique et caractéristiques démographiques des juvéniles des parcs à *Faidherbia* suivant un gradient climatique au Burkina Faso. *Science et technique, Sciences naturelles et appliquées*, 39(1) : 163 – 181.
- WOTTO Dètonджи Alex Florent (2020) *Ecologie, ethnobotanique et état de conservation de Detarium senegalense J.F.Gmel (Leguminosae – Caesalpinioideae) dans les phytodistricts Bassila et Borgou-Sud en République du Bénin*. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 182p.
- ZAKARI Soufouyane (2015) *Vulnérabilité des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Couber (Benin)*. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 203p.