

## Etat des connaissances et analyse des méthodes statistiques de distribution du genre *Borassus* en Afrique : revus systématique

*Zaneidou Habou Housseini*  
*Douma Soumana*  
*Alio Sanda Abdelkader*  
*Inoussa Maman Maarouhi*  
*Ali Mahamane*

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,  
Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila et Laboratoire de  
Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Niamey, Niger

Doi: 10.19044/esipreprint.12.2024.p434

Approved: 20 December 2024

Posted: 23 December 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

### Cite As:

Housseini Z.H., Soumana D., Abdelkader A.S., Maarouhi I.M. & Mahamane A. (2024). *Etat des connaissances et analyse des méthodes statistiques de distribution du genre Borassus en Afrique : revus systématique*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.12.2024.p434>

### Résumé

Le genre *Borassus* est une essence ligneuse significative répartie en Afrique occidentale. En raison de sa contribution importante dans l'économie rurale, le genre est menacé. Cependant, sa distribution est très peu documentée au Niger. Cette revue systématique a pour objet d'analyser les connaissances relatives à l'essence ainsi que les différentes méthodes statistiques employées pour décrire sa distribution en Afrique afin de déterminer leurs avantages et leurs inconvénients dans une perspective d'élaboration de futurs travaux. Les directives de la méthode PRISMA ont été suivies dans l'élaboration de cette recherche. Au total, 186 études furent identifiées, dont 157 pour l'analyse de l'état de connaissances et 8 pour l'analyse des méthodes statistique de distribution. L'analyse des connaissances a montré que les thématiques telles que : la morphologie, la valeur socioéconomique, la phénologie, la génétique, la germination et le système racinaire sont les champs d'étude les moins explorés. Les méthodes statistiques employées sont au nombre de 11 à savoir Maxent avec une

fréquence d'utilisation de 18.18 %. La fonction K, la fonctions F et G, l'indice de voisinage, l'indice structurel, la fonction variogramme, l'analyse de grappes et de valeurs aberrantes (Anselin Local Morans I), la fonction L(d), et la fonction  $L_{inhom}$  qui sont représentés respectivement par une fréquences d'utilisation de 9.09 %. Il ressort de cette étude que les méthodes statistiques sont variées mais qu'elles présentent certaines limites.

---

**Mots clés :** *Borassus*, Afrique, distribution, état de connaissance

---

## **State of Knowledge and analysis of Statistical Methods for the Distribution of the Genus *Borassus* in Africa: A Systematic Review**

*Zaneidou Habou Housseini*  
*Douma Soumana*  
*Alio Sanda Abdelkader*  
*Inoussa Maman Maarouhi*  
*Ali Mahamane*

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,  
Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila et Laboratoire de  
Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Niamey, Niger

---

### **Abstract**

The genus *Borassus* is a significant woody species distributed in West Africa. Due to its significant contribution to the rural economy, the genus is threatened. However, its distribution is very poorly documented in Niger. This systematic review aims to analyze the knowledge related to the species as well as the different statistical methods used to describe its distribution in Africa in order to determine their advantages and disadvantages with a view to developing future work. The PRISMA guidelines were followed in the development of this research. A total of 186 studies were identified, of which 157 were for the analysis of the state of knowledge and 8 for the analysis of distribution statistical methods. The analysis of knowledge showed that topics such as morphology, socioeconomic value, phenology, genetics, germination, and root system are the least explored fields of study. The statistical methods employed number 11, namely Maxent with a usage frequency of 18.18%. The K function, the F and G functions, the neighborhood index, the structural index, the variogram function, cluster and outlier analysis (Anselin Local Morans I), the L(d) function, and the Linhom function, which are represented respectively by

usage frequencies of 9.09%. It emerges from this study that the statistical methods are varied but have certain limitations.

---

**Keywords:** *Borassus*, Africa, distribution, state of knowledge

## Introduction

Appartenant à la famille des Arecaceae le genre *Borassus* compte 5 espèces dont *B. aethiopum*, *B. akeassi*, *B. flabelifer*, *B. heineanus* et *B. madagascariensis*. Dans sa famille le genre *Borassus* est le palmier le plus répandu. Sa distribution s'étend de l'Afrique tropical au Madagascar, de l'Asie du sud au sud-est et la Nouvelle-Guinée (Bayton, 2006).

Deux principales espèces sont présentes en Afrique à savoir *B. aethiopum* et *B. akeassi* (Bayton, 2006). Le rônier revêt une importance significative pour les communautés en raison de sa valeur sociale et économique variée (Gbesso *et al.*, 2013), l'exploitation de ces organes intervient dans l'alimentation animale et humaine, l'artisanat, la médecine traditionnelle, fournit du bois de service et d'énergie et concourt à la fertilisation du sol (Yameogo *et al.*, 2016). Selon Bouda (2005) au Niger, ces multiples avantages justifient le surnom de « mère nourricière » qui lui a été conféré. La forte demande de ses produits sur les marchés locaux et nationaux, additionnée à la paupérisation des populations rurales, sont entre autres les facteurs qui expliquent cet engouement pour le rônier (Ohin *et al.*, 2018).

Dans le sud-ouest du Niger, la régression de cette espèce est le résultat d'une surexploitation immodérée, notamment l'extension des terres agricoles, le prélèvement du bois et des fruits (Issiaka, 2018). Tout comme la pression anthropique, le changement climatique a contribué significativement à la dégradation des ressources forestières incluant le genre *Borassus*. De ce fait la conjugaison de ces deux facteurs a pour principale conséquence la perte d'habitat et la réduction de la productivité végétale (Sambou, 2004 ; Thione et Sabou, 2004 ; Salako *et al.*, 2018). D'après Teague *et al.* (2004), les effets d'une sécheresse climatique sont particulièrement préjudiciables quand les écosystèmes font face à des menaces anthropiques. Selon Kabore *et al.* (2019), les populations rurales étant fortement dépendantes des ressources naturelles sont très affectées par les changements climatiques. Certes, les ménages ont évoqué la dégradation de leurs terres, la diminution des ligneux et le faible rendement de leurs cultures. Ces changements climatiques se traduisent par des phénomènes météorologiques extrêmes tels que la sécheresse, la hausse des températures et une variation pluviométrique accompagnée d'un raccourcissement de la saison pluvieuse et des vents violents (Adebiyi *et al.*, 2019).

Le palmier rônier pousse dans la plupart des États d'Afrique de l'Ouest (FAO, 1988) et partout dans ces régions une régression des peuplements a été notée (Cassou, 1996). D'après les observations faites par Ouédraogo *et al.* (2005), les espèces sont plus exposées aux variations environnementales lorsqu'elles se trouvent à la limite de leur habitat naturel, où les conditions peuvent être moins favorables ou plus extrêmes. La disparité observée dans la distribution géographique des espèces est influencée par des aléas historiques tels que les événements géologiques, les changements climatiques graduels, les modes de dispersion, les facteurs écoclimatique et anthropiques, ainsi que les caractéristiques intrinsèques des espèces (Rds, 2021 ; Pechenik, 2023).

Dans le Sud du Niger, les rôneraies ont une distribution irrégulière et très peu documentée. Au plan national, peu de travaux ont été exécutés pour la connaissance de l'essence. Pour pouvoir élaborer une méthode d'étude appropriée il est primordial de connaître ce qui a déjà été réalisé et ce qui pourrait être amélioré. L'objet de cette revue systématique est d'offrir un bilan des connaissances sur genre *Borassus* et d'analyser les méthodes statistiques employées pour caractériser sa distribution afin d'évaluer leurs qualités et leurs pertinences. Par conséquent, il sera : i. comparé les avantages et les inconvénients de chaque méthode en fonction de la précision des mesures et de la reproductibilité, ii. il sera recommandé les méthodes les plus efficaces pour des futures recherches, iii. Il sera identifier les gap d'études concernant l'essence.

## **Méthodologie**

Dans un premier temps, les directives PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques ont été appliquées pour l'identification des méthodes statistiques employées pour décrire la distribution du genre. Il a également été pris en compte les directives énoncées par des auteurs tels que Frampton *et al.* (2017) sur l'élaboration des critères d'éligibilité d'une référence et Hervé Dumez. (2011) qui est explicite sur le processus d'élaboration d'une revue systématique. Puis, dans un second temps une analyse systématique des références identifiées a été faite pour rédiger un bref état de connaissance sur le genre.

## **Identification et recherche de la bibliographie**

La première étape du travail consista en une recherche de références à l'aide du moteur de recherche Google ainsi que des plateformes comme Google Scholar, African Journals Online, Bois et forêt, ResearchGate etc... Les mots clés distribution, démographie, écologie, changement climatique, compétition sont couplés séparément avec le nom scientifique des deux espèces du genre *borassus* présente en Afrique.

Les références bibliographiques de chaque article téléchargé ont été examinées pour identifier de nouvelles sources.

### **Trie des références**

Les critères d'inclusion sont :

- l'étude est réalisée en Afrique
- l'étude porte sur la distribution spatiale d'une ou plusieurs espèces appartenant au genre *Borassus*.
- le document est rédigé en français ou en anglais.

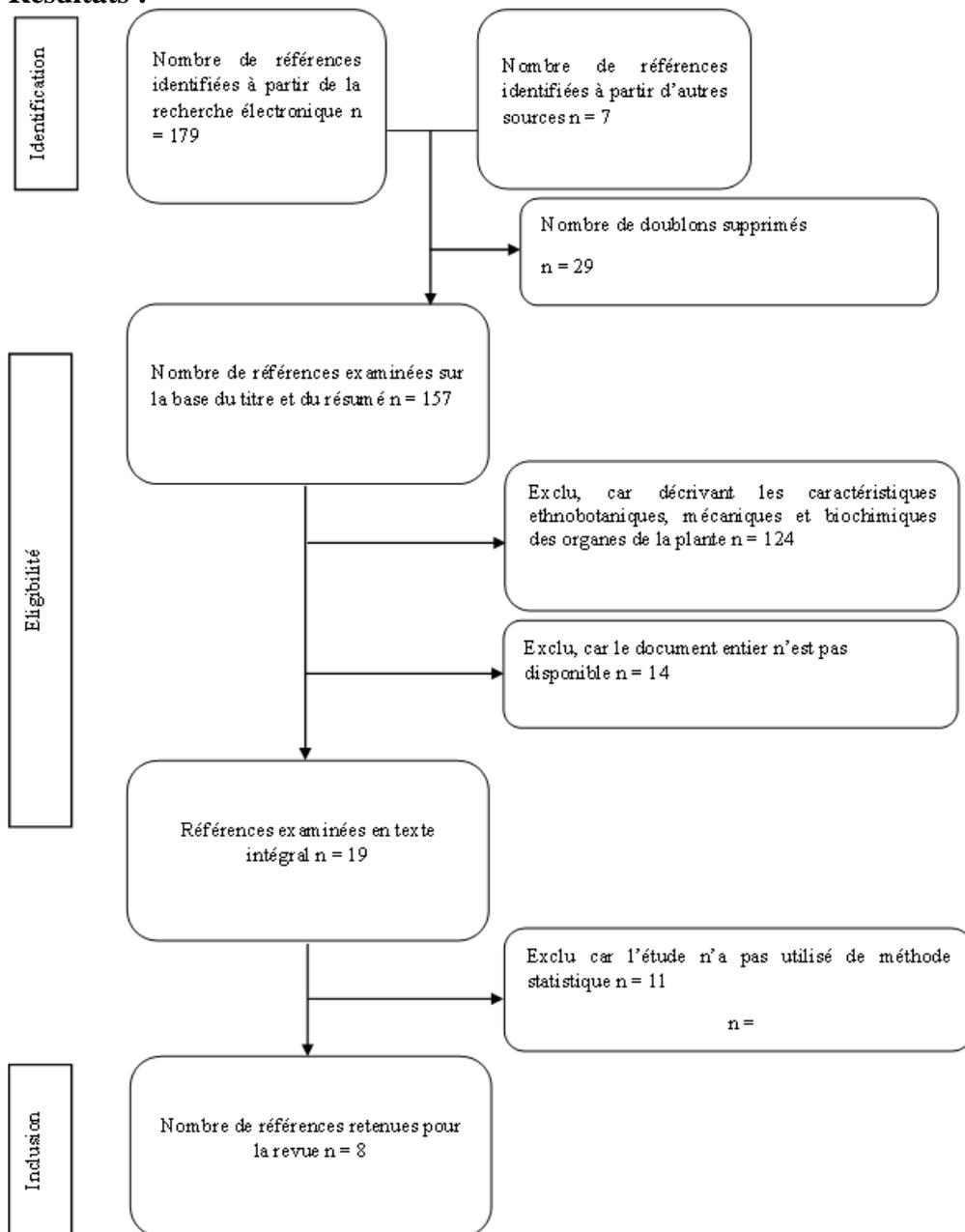
Les critères d'exclusion sont :

- Le document entier n'est pas disponible (résumé ou est soumis à une obligation de payement).
- Le document ne présente pas une méthodologie d'étude statistique détaillée ou dont la qualité est jugée faible, comme par exemple des études qui mentionne la distribution du rônier de manière narrative ou qui n'ont pas produit des cartes de distribution.

Pour garantir la pertinence des références retenus, un premier tri fut réalisé à partir de l'analyse du titre et du résumé de l'article, les références ne répondant pas aux critères d'éligibilité furent éliminées. En cas d'incertitude ou si la référence remplit les critères d'éligibilité un second tri qui consiste à l'analyse complète du document a été réalisé pour aboutir à une décision finale qui définisse les raisons de l'inclusion ou de l'exclusion du document (Frampton *et al.* 2017).

### **Extraction des données**

L'ensemble des documents retenus ont été codés dans le tableau Excel les informations suivantes ont été extraites : nom de l'auteur et année de parution ; titre de l'article ; localisation ; objectif de l'étude ; informations décrivant les techniques statistiques employées et études conjointes à la distribution.

**Résultats :****Figure 1** : diagramme des résultats de la recherche bibliographique

**Tableau 1** : résumé des différentes études menées sur borassus suivant certaines méthodes statistiques

Nom de l'auteur et année de parution	Localisation	Objectif de l'étude	Informations décrivant les techniques statistiques employées	Études conjointes à la distribution
Barot <i>et al.</i> , (1999)	Cote d'Ivoire	Comprendre les modèles spatiaux du rônier (régulier, agrégé ou aléatoire), les associations spatiales et le lien des modèles spatiaux avec l'hétérogénéité de l'environnement et la démographie	Fonction K de Ripley + fonctions F et G de Diggle	
Barot <i>et al.</i> , (2003)	Cote d'Ivoire	Comprendre l'effet du voisinage des arbres, des termitières, des autres plantes juvéniles et des individus adultes de <i>B. aethiopum</i> sur les juvéniles et les semis de <i>B. aethiopum</i>	Indice de voisinage	Augmentation des feuilles juvéniles en fonction de l'indice de voisinage + suivi de la survie et du développement des rôniers + suivi dendrométrique.
Salako <i>et al.</i> , (2015)	Bénin	Étude de la distribution latitudinale, de l'abondance, de l'adaptabilité du rônier aux interactions interspécifiques et de leurs évolutions au sein d'écorégions variées	Indice structurel	Inventaire phytoécologique
Hessou, (2011)	Bénin	Caractérisation globale de la distribution, analyse de l'effet de l'exploitation sur la distribution et analyse de la répartition spatiale des mâles par rapport aux femelles	Fonction L(r) et fonction intertype L12(r)	Étude dendrométrique et importance socioculturelle
Salako <i>et al.</i> , (2018)	Bénin	Étude des modèles de distribution de densité et identification de l'impact des changements climatiques sur la distribution de <i>B. aethiopum</i>	Maxent + fonction variogramme	Relation entre la densité d'arbres de <i>B. aethiopum</i> et l'utilisation des terres (aires protégées vs jachère/système agricole)
Douffi <i>et al.</i> , (2018)	Cote d'Ivoire	Analyse des facteurs environnementaux influençant la répartition du rônier (compétition, humidité et température au sol)	Fonction L(d) + Analyse du plus proche voisin (ANN) + analyse de grappes et de valeurs aberrantes (Anselin Local Morans I).	Analyse de l'incidence des facteurs environnementaux sur les grappes de rônier par couplage des données de l'analyse de grappes et de valeurs aberrantes (Anselin Local Morans I) à celle du calcul de l'indice d'humidité au sol (NDWI)

				et la température au sol, (LST)
Traoré <i>et al.</i> , (2021)	Cote d'Ivoire	Analyse de la corrélation entre les processus démographiques, la distribution spatiale et l'hétérogénéité environnementale des rônaraies par comparaison aux résultats de Barot <i>et al.</i> , (1999)	Fonction $L_{inhom}$ (Besag et Diggle 1977).	Carte de densité
Kanda <i>et al.</i> , (2024)	Niger	Identification de l'impact des changements climatiques sur la distribution de trois espèces de palmier et prévision de leur perte habitat	Maxent	

Parmi les 8 références examinées sur texte intégral 11 méthodes statistiques furent identifiées. La visualisation du tableau 1 montre trois grande tendances de méthodes statistiques, à savoir l'étude de la distribution spatiale (régulier, agrégée ou aléatoire), l'étude du voisinage et la modélisation de la distribution des espèces. La méthode la plus dominante est Maxent avec une fréquence de 18.18 % suivie des autres méthodes ayant cumulé respectivement 9.09 % de fréquence (tableau 2).

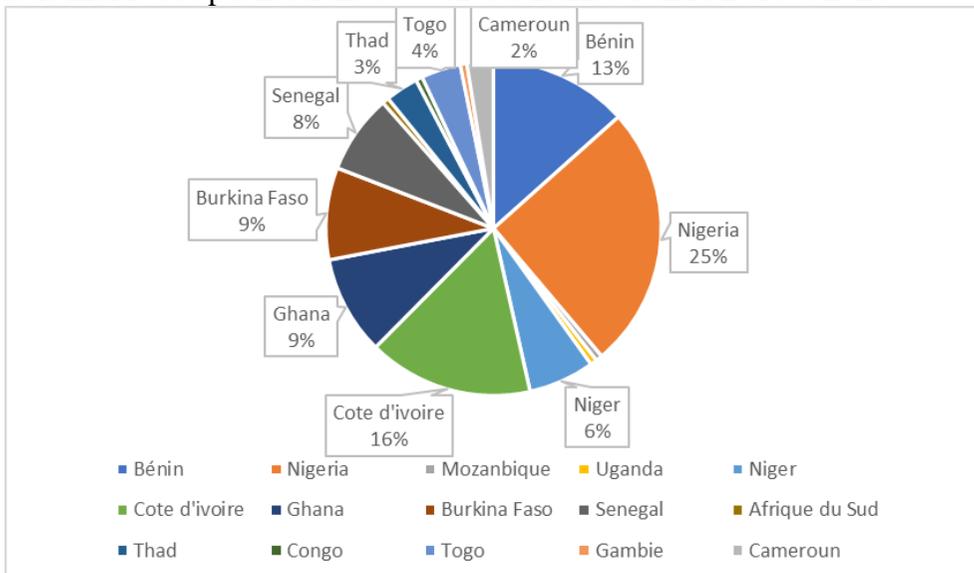
Certains auteurs ont conjointement mené d'autres recherches autres que la distribution dans une même étude, afin de mieux comprendre l'écologie de l'essence et les facteurs qui l'influencent (tableau 1).

**Tableau 2** : Fréquence respective de chaque méthode

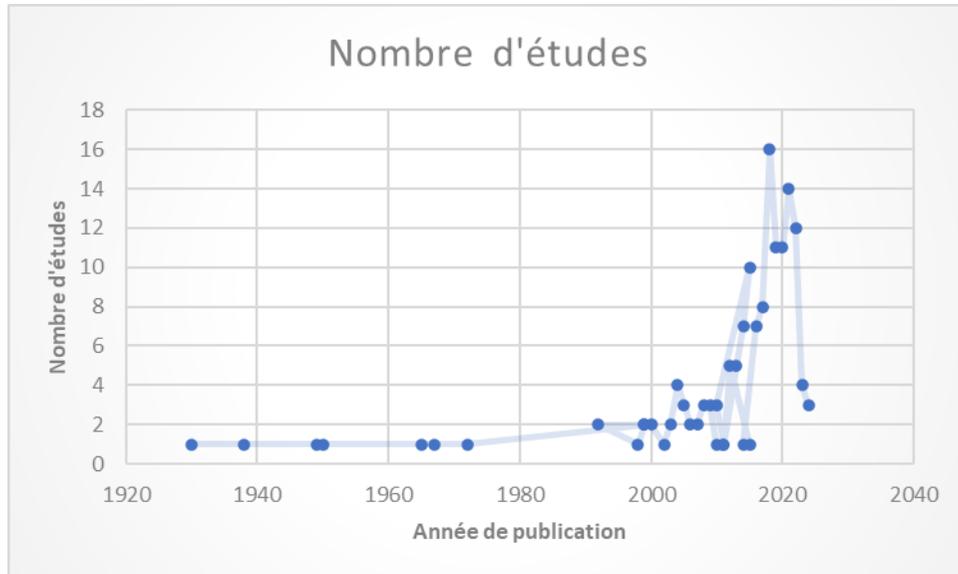
Informations décrivant les méthodes statistiques employées	Fréquences %
Fonction K (Ripley 1981)	9,09
Fonctions F et G (Diggle 1983)	9,09
Indice de voisinage	9,09
Indice structurel	9,09
Fonction L(r) et L12 (r)	9,09
Maxent	18.18
Fonction variogramme	9,09
Analyse de grappes et de valeurs aberrantes (Anselin Local Morans I)	9,09
La fonction L(d)	
Analyse du plus proche voisin (ANN)	9,09
Fonction $L_{inhom}$ (Besag et Diggle 1977).	9,09

Après suppression des doublons et avant l'application des critères d'éligibilités 157 références ont été analysées afin de faire ressortir le bilan de connaissance concernant l'essence. Il en ressort qu'au Niger les recherches sont très limitées, parmi les études publiées on retrouve Kanda *et al.*, (2024) ont identifié l'impact des changements climatiques sur la

distribution du rônier ; Gschladt (1972) sur la description botanique et l'utilisation du rônier dans le Dallol Maouri ; Issiaka (2018) sur la gestion durable et la valorisation de l'espèce et Dan Guimbo et al. (2012) qui ont superficiellement abordé la valeur alimentaire et les facteurs de menace de l'espèce. La figure 2 montre que la majorité des études ont été réalisées en Afrique de l'Ouest (92 %). Cela s'explique par l'importance socioéconomique de l'essence dans la sous-région. Quelques études proviennent de l'Afrique du Nord (Tchad 3 %), de l'Afrique centrale (Cameroun 3 %) et de l'Afrique du Sud (Mozambique et Afrique du Sud 1 %). Les pays ayant comptabilisé les plus grands nombres de publications sont le Nigeria 25 %, la Cote d'Ivoire 16 % suivie du Bénin 13 %. La figure 3 montre l'évolution des publications qui est caractériser par une stagnation durant le XXe siècle, avant de suivre une évolution en dent de scie à partir de 2013. Le pic des publications est atteint en 2018 avec 15 publications. Plus de la moitié des publications 55% ont été réalisées entre 2016 et 2024.

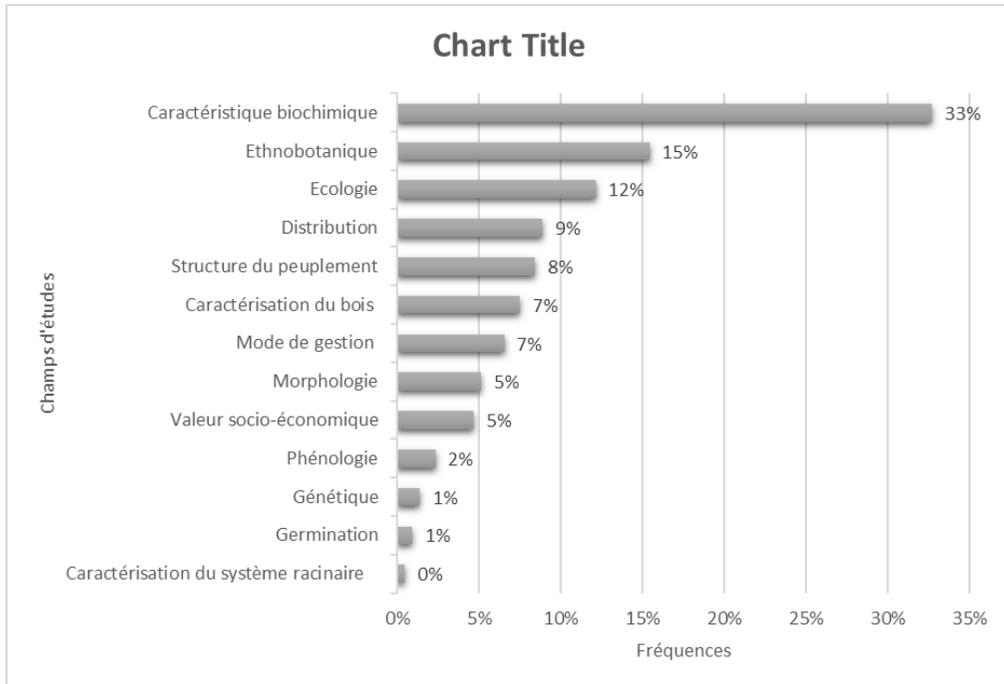


**Figure 2 :** distribution spatiale du nombre de publication par pays



**Figure 3 :** distribution temporelle du nombre de publication

Les fréquences des champs d'étude identifiés parmi les 155 références sont représentées par la figure 4. Les caractéristiques biochimiques de l'essence (33%) ont été largement décrites, ce qui a permis de mettre en évidence les valeurs alimentaires et médicinales du genre. Plusieurs études ont abordé l'ethnobotanique de l'essence (15%), en effet la majeure partie de la plante est utilisée et revêtent des valeurs socioéconomiques importantes. L'écologie de l'essence (12%), a été mise en évidence par divers auteurs et a contribué à une meilleure connaissance des niches écologique de l'essence. En Afrique, la distribution de l'essence est très peu étudiée (9%). L'analyse de la structure démographique est représentée par une fréquence de (8%) et met en évidences le déséquilibre entre les classes d'âge du peuplement. En raison de sa forte utilisation dans la construction les qualités mécaniques du rônier ont été étudiées (7%). Le mode de gestion est représenté par une fréquence de (7%) et met en évidence l'exploitation anarchique conduisant à sa dégradation de l'essence dans de nombreux pays. Les champs d'études les moins explorés sont, la morphologie (5%), la valeurs socioéconomique (5%), la phénologie (2%), la génétique (1%), la germination (1%) et le système racinaire (0%).



**Figure 4 :** états de connaissance sur le genre *Borassus* en Afrique.

## Discussion

Dans cette partie il sera défini et discuter les avantages et les inconvénients des 11 méthodes statistiques identifier dont Maxent qui est représenté par une fréquence d'utilisation de 18.18 %, la fonctions F et G de Diggle, la fonction K, la fonction L(d), l'indice de voisinage, l'indice structurel, la fonction variogramme, l'analyse de grappes et de valeurs aberrantes (Anselin Local Morans I) et la fonction  $L_{inhom}$  (Besag et Diggle 1977) qui sont représenté respectivement par des fréquences d'utilisation de 9.09 %.

### Fonction K de Ripley (1981)

La méthode K de Ripley (1981) est un outil statistique conçu pour l'analyse des modèles spatiaux, bien qu'elle n'en définisse pas les causes elle est largement employée en écologie végétale car elle permet la cartographie et l'interprétation de la densité de point dans le voisinage. A l'instar de plusieurs auteurs c'est dans ce cadre que Barot *et al.* (1999) l'ont utilisé pour déterminer si en fonction des classes d'âges *borassus aethiopum* avait une distribution régulière, agrégé ou aléatoire. La fonction K permet de quantifier simultanément pour plusieurs distances  $r$  (Goreaud, 2000, p. 47) la proximité moyenne des points par rapport au point étudié dans un échantillon (Barot *et al.*, 1999 ; Douffi *et al.*, 2018). La fonction K est construite à partir de

plusieurs tests qui font la comparaison entre la fonction estimée et la fonction théorique sous l'hypothèse nulle (processus de poisson ou le caractère aléatoire spatial complet), si les résultats s'écartent de l'hypothèse nulle alors on en déduit que la structure spatiale n'est pas aléatoire. Ainsi, pour estimer la signification des tests il est utilisé l'approche de "Monte Carlo" qui est définie par des intervalles de confiance, qui définissent à leurs tours le type de distribution (Diggle, 1983).

La fonction K présente une courbe en parabole difficile à interpréter (Goreaud, 2000, p. 52). Lorsque les points sont proches des limites de l'aire d'étude, l'un des inconvénients de la méthode K de Ripley et l'effet de bord, selon Barot *et al.* (1999) la fonction K de Ripley intègre bien la correction de bord, ce qui n'est pas le cas de la fonction F et G de Diggle. Les formule de correction de l'effet de bord sont expliqués par Goreaud et Pélissier (1999). La fonction K de Ripley présente également l'inconvénient de l'effet de l'hétérogénéité. Selon Traoré *et al.* (2021) une hétérogénéité importante dans la distribution des points peut influencer l'estimation de K et entraîne des biais dans les résultats. En plus, Douffi *et al.* (2018) corroborent l'affirmation de (Fischer et Getis, 2010) et (Mitchell, 2005) selon laquelle la fonction K est limitée par le seuil de probabilité, la distance moyenne d'agrégation et le poids de la distribution (mesure de l'écart par rapport à la moyenne).

### **Fonction F et G du plus proche voisin de Diggle (1983)**

La fonction du plus proche voisin F et G de Diggle permet de définir les différentes associations spatiales dans un biotope. Elles évaluent la relation entre deux types de points échantillonnés. Toute fois elle présente l'inconvénient d'être limitée par leur portée car elle ne caractérise que les structures à petite distance (Goreaud, 2000, p. 47)

La fonction G de Diggle exprime la relation entre les points d'un même échantillon en mesurant la distance qui sépare l'ensemble des points d'un échantillon de son voisin le plus proche. Quant à la fonction F de Diggle elle compare les points de l'échantillonnage à une structure extérieure (grille), elle définit la distribution des distances entre chaque point d'une grille d'échantillonnage et le point le plus proche de l'échantillon observé (Barot *et al.*, 1999).

D'après Barot *et al.* (1999) la combinaison des deux fonctions facilite l'analyse des modèles spatiaux comme l'association entre les différents stades de vie du rônier (semi, juvénile et adulte). En outre, en fonction de la distance qui sépare deux groupes (A ou B), le test K et G permet de déterminer l'association ou la répulsion entre ces deux groupes. Cependant la relation entre les deux groupes peut ne pas être symétrique le groupe A peut être associé au groupe B sans que l'inverse ne soit vrai. Selon Barot *et al.*

(1999) la fonction F et G de Diggle suit les mêmes principes de construction que la fonction K c'est à dire que la fonction estimée est comparée à la fonction théorique sous l'hypothèse nulle.

Ripley (1981) ; Diggle (1983) et Barot *et al.* (1999) soutiennent que les trois fonctions (K, F et G) sont complémentaires, car chacune des fonctions est meilleure pour fournir un type d'information qui une fois réuni donne une image complète de la distribution spatiale. Ainsi G est plus efficace pour détecter les modèles réguliers, F pour détecter les modèles agrégés et K est meilleure que G pour détecter les modèles réguliers, tandis que K est moins efficace que F pour détecter les modèles agrégés (Diggle, 1979). Et si K est robuste aux variations de la densité (beaucoup ou peu de points), une des limitations de F et G est qu'elles prennent en compte la distance au plus proche voisin qui est influencée par la densité des points, ce qui peut erroner les résultats du test (Ripley 1981).

### Indice du voisinage

Il ressort de l'étude de Barot *et al.* (1999) que la distribution spatiale de *B. aethiopum* été diversifiée et donc influencée par son voisinage. Pour comprendre les causes sous-jacentes à ce schéma, l'indice du voisinage s'avère utile car il permet de comprendre les interactions entre un individu et son milieu de vie.

Calculer l'indice du voisinage consiste à répertorier sur un rayon maximal ( $r_{max}$ ) un ensemble de facteurs susceptibles d'influencer la plante focale (individu étudié). Le nombre pondéré par la distance de ces facteurs par rapport à la plante focale permet de modéliser l'influence du voisinage. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de prendre en compte l'hétérogénéité de l'environnement. Cependant il reste tout de même difficile d'affecter une valeur à un facteur (selon sa taille et la distance qui le sépare de l'entité focale) sans inclure des biais d'estimation. L'analyse de chemin, permet de quantifier l'effet du voisinage entre la plante focale et les indices de voisinage selon l'hypothèse nulle que la variable influente (V1) du chemin considéré n'avait aucun effet sur l'autre (V2) (Barot *et al.*, 2003).

$$ID = \sum_{r_{ij} \leq r_{max}} W_{ij} \quad (1)$$

ID : Indice du voisinage ;  $r_{max}$  : distance maximale entre une plante focale et d'autres facteurs qui peuvent l'influencer ;  $W_{ij}$  : pondération ou  $i$  est le suffixe de la plante focale et  $j$  le suffixe pour ses voisins ;  $r_{ij}$  : distance entre la plante focale  $i$  au voisin  $j$ .

## Indice structurel

Cette méthode a été appliquée par Salako *et al.* (2015) pour identifier l'organisation et l'hétérogénéité de la distribution spatiale des arbres autour de la plante focal. Elle permet de caractériser la distribution des arbres à petite échelle, elle est basée sur l'étude d'un groupe structurel composé de l'entité focale et de ces  $n$  voisins les plus proche, en déterminant le mélange ( $M_i$ ), la distance arbre-arbre ( $D_i$ ) ainsi que la différenciation du dbh ( $DD_i$ ) et de la hauteur ( $HD$ ) (Pommerening, 2002, 2006 ; Ruprecht *et al.* 2010). Ainsi, on peut analyser la compétition et son influence sur la distribution et la structure verticale et horizontale d'un peuplement (Salako *et al.*, 2015). En outre, Pommerening (2002) souligne que cette approche est adéquate pour estimer la corrélation entre la structure forestière et l'adéquation de l'habitat des espèces végétales. Cependant, comme la majorité des outils d'étude spatiale, l'analyse de la diversité structurelle est sensible à l'effet de bord. En effet Pommerening (2002) propose plusieurs méthodes afin de réduire les biais dans le calcul du voisinage.

## Fonction $L(r)$ et la fonction intertypes $L_{12}(r)$

Les fonction  $L(r)$  et  $L_{12}(r)$  représente la forme linéarisée des fonction  $K(r)$  et  $K_{12}(r)$  de Ripley.  $L_{12}(r)$  étudie les relations spatiales entre deux types de points différents comme par exemple les plantules et les adultes (Rabiou *et al.*, 2015).  $L(r)$  et  $L_{12}(r)$  sont construites sous l'hypothèse d'homogénéité et d'isotropie (Goreaud, 2000, p. 66). Elles présentent l'avantage d'avoir une variance stable et d'être facile à interpréter (Hessou, 2011 ; Besag, 1977) et permet de caractériser la structure spatiale d'un peuplement sur une grande ou une petite échelle (Ali *et al.*, 2022 ; Goreaud, 2000, p. 62). La signification des résultats est déterminée par le test de Monte Carlo. Si la courbe  $L(r)$  et  $L_{12}(r)$  est au-dessus de l'intervalle de confiance cela signifie que la distribution est grégaire et ou il y'a une attraction entre les individus mâles et femelles, dans le cas contraire on dénote une répulsion entre les individus. En revanche si la courbe  $L(r)$  et  $L_{12}(r)$  se trouve dans l'intervalle de confiance cela signifie que la distribution est aléatoire (Hessou, 2011).

Le risque de première erreur global est le biais majeur qui peut surgir durant l'estimation de toutes les courbes  $L(r)$  qui sortent de l'intervalle de confiance (Goreaud, 2000, p. 56), ce risque fait référence à la probabilité de conclure à tort que l'hypothèse nulle est vraie durant chaque texte.

Le processus d'estimation de la fonction  $L(r)$  est donné par l'équation suivante :

$$\widehat{K}(r) = \frac{A}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{I_r}{W_{ij}} \quad \widehat{L}(r) = \sqrt{\frac{\widehat{K}(r)}{\pi}} - r \quad (1)$$

Avec A : la surface du domaine d'étude ; N : le nombre d'individus dans le domaine

d'étude ; r : distance utilisée comme rayon du cercle autour de chaque individu à l'intérieur duquel tous les individus sont comptés ;  $I_r$  : fonction indicatrice qui vaut 1 si  $d_{ij}$  (distance séparant le point i du point j)  $\leq r$  et 0 si  $d_{ij} > r$  ;  $W_{ij}$  : facteur de correction des effets de bords.

Le processus d'estimation de la fonction intertypes est donné par l'équation suivante :

$$\widehat{K}_{ij}(r) = \frac{A}{n_i n_j} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{I_r}{W_{ij}} \quad \widehat{L}_{ij}(r) = \sqrt{\frac{\widehat{K}_{ij}(r)}{\pi}} - r \quad (2)$$

Où i et j sont des individus d'espèces différentes.  $n_i$  le nombre d'individus de type i ;  $n_j$  le nombre d'individus de type j.

### Fonction variogramme

La fonction variogramme est définie comme étant un outil géostatistique robuste permettant de mesurer et d'analyser la variation de la structure spatiale d'un phénomène (densité) dans l'espace en fonction de la distance qui sépare deux variable (Christakos *et al.*, 2002 ; Baillargeon, 2005). La fonction du variogramme expérimentale est obtenue en calculant le semivariogramme selon la formule suivante :

$$V(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [d(x_i) - d(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

$V(h)$  est l'estimateur du semivariogramme de densité ;  $d(x_i) - d(x_i + h)$  est la différence des moyennes de densité en deux emplacements séparés par une distance de décalage de (h) et  $N(h)$  est le nombre de paires de données dans cette distance de décalage.

D'après Salako *et al.* (2018) la combinaison de Maxent et de la modélisation géostatistique (fonction variogramme) présente l'avantage de déterminer si les aires de répartition à forte densité et propices au développement des rôniers le resteront sous différents scénarios climatiques. La fonction variogramme définit également la variation de la structure spatiale selon différentes directions spatiales (Salako *et al.*, 2018), et permet

aussi de prédire la valeur d'une variable dont la mesure est inconnue grâce au Krigeage (Goovaerts, 1997).

Cependant, elle présente également une limite car elle est construite sous l'hypothèse de stationnarité (Salako *et al.*, 2018) selon laquelle la densité moyenne est constante dans la zone d'étude ce qui peut ne pas être le cas.

### **Analyse du plus proche voisin (ANN)**

L'ANN est une technique statistique permettant d'identifier le type de distribution de point dans un espace. Douffi *et al.* (2018) ont privilégié l'ANN car elle permet de combler certaines insuffisances de la fonction K de Ripley (seuil de probabilité, distance moyenne d'agrégation et le poids de la distribution), l'ANN consiste à évaluer dans un échantillon la distance moyenne entre un point et son plus proche voisin (Clark, Evans, 1954). Le type de distribution est défini en comparant la moyenne pour une distribution aléatoire hypothétique à la moyenne des distances observées entre un point et son plus proche voisin. La moyenne du voisin le plus proche est calculer en divisant la distance moyenne observée (DO) par la distance moyenne attendue (DA). Si cette moyenne est inférieure à celle du modèle hypothétique alors la distribution est agrégée dans le cas contraire la distribution est de type dispersé (Douffi *et al.* 2018). Havyarimana *et al.*, (2013) énonce que l'ANN est sensible à la densité si l'échantillonnage n'excède 100 points. A cette effet le test Clark Evans introduit des biais d'interprétation (effet de bord). Ainsi la distribution agrégée peut être Interprétée comme aléatoire et une distribution aléatoire comme uniforme (Bütler, 2000). Pour pallier l'effet de bord Clark, Evans, (1954) propose d'élargir la zone d'étude de manière à prendre en compte les individu dont les plus proches voisins se situent en dehors de la zone initiale.

### **Analyse de grappes et de valeurs aberrantes**

L'analyse de grappes et de valeurs aberrantes sont deux méthodes statistiques complémentaires permettant de distinguer la corrélation entre les groupes présentant des caractéristiques similaires. En outre il a également pour objectif de déterminer si la répartition des modèles spatiaux est due au hasard. Les espaces à haute concentration sont dénommés hot spot tandis que ceux à faible densité sont appelé cold spot, pour ce faire on calcul l'indice locale de Moran anselin I (Fischer et Getis, 2010). La signification statistique est définie par intervalle (Score z) (Douffi *et al.*, 2018). Les principaux inconvénients à l'application de cette méthode résident dans l'influence de la conception de l'échantillonnage (comparabilité des résultats), la correction des comparaisons multiples (nombre important d'emplacements) et le choix de la distance seuil entre le point étudié et son voisin (Douffi *et al.*, 2018).

Ainsi, pour comprendre l'influence des facteurs environnementaux sur la structure spatiale du peuplement de rôniers Douffi *et al.* (2018) couplent les données de l'analyse de grappes à une pondération où un poids est attribué à différents facteurs du biotope propice au développement de l'essence (l'indice d'humidité au sol, NDWI et la température au sol, LST).

### La fonction L(d) de Besag

Douffi *et al.* (2018) utilisent la fonction L(d) de Besag qui est une transformation de la fonction K de Ripley pour analyser la structure spatiale intraspécifique (agrégé, régulière, aléatoire) des rôniers. Elle présente l'avantage d'être facile à interpréter et a une variable stable (Besag, 1977). Comme les autres méthodes basées sur la distance, L(d) est sensible aux effets de bord.

Elle est obtenue à partir de la formule suivante :

$$L(d) = \sqrt{\frac{A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n K_{i,j}}{\pi n(n-1)}} \quad (4)$$

d : la distance ; n : nombre total d'entités ; A : la surface totale du dispositif et  $K_{i,j}$ , le poids.

### La fonction $L_{inhom}$

La fonction  $L_{inhom}$  est un outil statistique adapté à l'analyse de la distribution des points inhomogènes (densité varie d'un point à un autre), elle permet de détecter des déviations en comparant la distribution observée et la distribution aléatoire complète (Pélissier et Goreaud, 2001 ; Traoré *et al.*, 2021). Elle a été utilisée dans le contexte du rônier pour faire une analyse de la distribution spatiale, de l'hétérogénéité de l'environnement et des associations démographiques pour finir avec une étude diachronique par rapport aux résultats de Barot *et al.* (1999). Toutefois l'interprétation de  $L_{inhom}$  est beaucoup plus facile que celle de la fonction K car sa variance est stable (Besag et Diggle, 1977 ; Traoré *et al.*, 2021).

Grace à la procédure de  $L_{inhom}$  il est possible d'éliminer l'effet de l'hétérogénéité de la fonction L (Baddeley 2008). La fonction  $L_{inhom}$  est calculée à partir de sa fonction complémentaire  $K_r$  qui sert de base pour corriger les biais d'interprétation (Baddeley *et al.*, 2000).

$$K_r = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} \frac{w_{ij}}{\lambda^2} I(d_{ij} < r) \quad (5)$$

$K_r$  est la fonction K de Ripley à la distance r,  
n : le nombre total de points

$\lambda$  : densité des arbres

A : l'aire de la zone d'étude

r : la distance entre deux points

wij terme de correction de bord, 7

dij distance entre deux points et I est une fonction d'indice où I = 1 si dij ≤ r et I = 0 sinon (Ripley 1981).

$L_{inhom}$  utilise les données de  $K_r$  pour corriger l'effet de l'hétérogénéité

$$L_{inhom}(r) = \sqrt{\frac{K_{inhom}(r)}{\pi} - r} \quad (6)$$

Contrairement à la fonction  $K_r$  qui caractérise uniquement la distribution d'un seul type de point, la fonction  $K_{1.2}(r)$  intertype est une fonction capable d'analyser la relation spatiale entre deux types de points pour en déduire  $L_{inhom1.2}$  (Traoré *et al.*, 2021).

$$L_{inhom1.2}(r) = \sqrt{\frac{K_{inhom1.2}(r)}{\pi} - r} \quad (7)$$

### Entropie maximale (MaxEnt)

Maxent est un outil statistique significativement employé en écologie pour la modélisation de la distribution des espèces végétales. Différentes approches peuvent être utilisées pendant chaque étude exploite les données de présence et les données environnementales (précipitation, température, sol etc..) qui peuvent influencer la distribution de l'espèce étudiée. La carte de probabilité peut être générée sous différents types de scénarios comme le RCP 4.5 et 8.5 (Salako *et al.*, 2018) et ssp1-2.6 et ssp5-8.5 (Kanda *et al.*, 2024) sur une échelle temporelle bien déterminée. Le test de Jackknife définit les variables bioclimatiques importantes à retenir dans la construction du modèle (Salako *et al.*, 2018 ; Kanda *et al.*, 2024). L'occurrence de risques de biais comme le surajustement peuvent survenir au cours de l'entraînement, si le choix de paramétrage (ex : variable climatique corrélée ou enregistrement groupe des points d'occurrences) ne suit pas une démarche appropriée (Skowronek *et al.*, 2018 ; Braunisch *et al.*, 2013). Salako *et al.* (2018) ont trouvé que la modélisation de la distribution des espèces à petite échelle comme le cas du Bénin est une limite car la méthode est plus fiable à grande échelle (Barve *et al.*, 2011). Maxent est un outil de prévision très précis avec une aire sous la courbe ROC (ROC-AUC) et des statistiques de compétence réelle (TSS) significatives (Salako *et al.*, 2018 ; Kanda *et al.*, 2024 ; Phillips *et al.*, 2008). Cependant le modèle de distribution d'espèces sous-estime la capacité d'adaptation locale des espèces (Aitken *et al.*, 2008) ainsi que leurs

interactions avec d'autres espèces (Castagneri et Motta 2010). En effet plusieurs études ont démontrées que l'intégration des variables intraspécifiques en rapport à l'adaptation local dans des environnements varier améliore la qualité de prévision des models de distribution des espèces (SDM) (Pearman *et al.*, 2010 ; Chardon *et al.*, 2020 ; Biaou *et al.*, 2023 ; Jinga *et al.*, 2021)

## Conclusion

Cette revue a permis de mettre en lumière l'état de connaissances et les différentes techniques statistiques employées pour étudier la distribution de *B. aethiopum* en Afrique. L'ensemble des méthodes employées présente des limites, en effet la fonction K est limitée par l'effet de bord, l'hétérogénéité de l'environnement, le seuil de probabilité, la distance moyenne d'agrégation et le poids de la distribution ; la fonction F et G est sensible à la densité des points ; l'indice du voisinage et l'analyse de grappes et de valeurs aberrantes sont sensible au choix du paramétrage ; l'indice structurel et la fonction L(d) sont limités par l'effet de bord ; l'hypothèse de stationnarité peut induire des erreurs dans la construction de la fonction variogramme ; l'ANN est sensible à l'hétérogénéité de l'environnement et Maxent est limitée par le surajustement et la taille de l'échantillon si elle est petite. Cependant ces différentes méthodes peuvent être combinées pour réduire le risque de biais. On note également que les différentes fonctions ont des applications différentes. Ainsi, la fonction L (d) est utilisée pour des analyse univariés, la fonction L(d) pour des analyse binivariés et L inhom est appropriée pour des analyses prenant en compte l'hétérogénéité de l'environnement et donc le choix de la fonction appropriée dépendra des objectifs de l'étude et des caractéristiques des données.

Cette revue pourrait également être utilisée pour orienter des futurs travaux de recherche sur des sujets encore non traités.

L'analyse de l'état des connaissances nous a permis de définir comme perspective d'étude :

- l'étude de la distribution du rônier dans le Sud-Ouest du Niger. Ce qui est crucial afin d'améliorer sa gestion.
- la modélisation de la distribution du rônier au Niger tout en tenant compte de l'adaptation de locale. Cela est crucial afin d'améliorer la précision des SDM dans la prévision de la dégradation de l'habitat de l'espèce.
- dans un contexte de changement climatique il est important de mener des enquêtes ethnobotaniques qui permettront d'apprécier la perception des exploitants du rônier sur les changements climatiques

et son impact sur la productivité des rôneraies en l'occurrence la production des fruits et d'hypocotyles.

- l'étude de la phénologie permettra d'apprécier l'adéquation du rônier au variabilité climatique.
- le suivi de la germination et de la croissance en pépinière permettra de mieux appréhender la régénération de l'essence et la production de l'hypocotyle.
- la caractérisation racinaire permettra de mieux appréhender les mécanismes d'occupation du sol et d'adaptation aux contraintes hydriques.

Ces besoins de recherche ainsi identifiés donneront suite à des études qui permettront d'approfondir nos connaissances sur l'espèce.

**Contributions des Auteurs :** ZHH est l'auteur principale de cette étude, il a réalisé la rédaction de la méthodologie avec ASA. ZHH à réaliser la recherche bibliographique et sont analyse suivie de la rédaction du document. DS est le superviseur de ce travail. I M M et AM ont concouru à l'amélioration du manuscrit.

**Remerciements :** Les auteurs de ce travail adressent leurs remerciements aux membres du Laboratoire de Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel de l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour leurs conseils fort utile.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

#### **References:**

1. Adebisi, K. D., Maiga-Yaleu, S., Issaka, K., Ayena, M., & Yabi, J. A. (2019). Déterminants de l'adoption des bonnes pratiques de gestion durable des terres dans un contexte de changement climatique au Nord Bénin : cas de la fumure organique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2): 998-1010.
2. Aitken, SN., Yeaman, S., Holliday, JA., Wang, T., Curtis-McLane, S. (2008). Adaptation, migration or extirpation: climate change

- outcomes for tree populations. *Evol Appl* 1:95–111. doi:10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x
3. Ali, A., Moukaila, S., Inoussa, M. M., Diouf, A., Mahamane, A., et Saadou, M., (2022). Répartition spatiale des individus ligneux dans le peuplement naturel à *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. Rich. une espèce à usage multiple au Niger
  4. Atakpama, W., Atoemne, K., Egbelou, H., Padakale, E., Batawila, K., & Akpagana, K. (2022). Distribution and demography of roan tree parks in the Savannah Region of Togo. *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences* ISSN:2657-2664, Vol.5 Issue 2.
  5. Avoutchou, M., Avana-Tientcheu, M.L., Dongock, N. D & Mapongmestem, P.M. (2022). Potentiel écologique et ethnobotanique des parcs agroforestiers à *Borassus aethiopum* Mart. (Arecaceae) dans la Région de Mayo-Kebbi Est (Tchad). *Rev Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 2022, No 01, vol 02, 140-155pp.
  6. Baddeley, A. (2008). *Analysing Spatial Point Patterns* in R. Technical Report, CSIRO, 2010. Version 4. www.csiro.au.
  7. Baddeley, A.J., & Moller, J., Waagepetersen, R. (2000). Non- and semiparametric estimation of interaction in inhomogeneous point patterns. *Stat Neerl* 54:329–350.
  8. Baillargeon, S. (2005). *Le krigeage: revue de la theorie et application à l'interpolation spatiale de donnees de precipitations*. Université Laval, Laval.
  9. Barot, S., & Gignoux, J. (2003). Neighborhood analysis in the savanna palm *Borassus aethiopum*: Interplay of intraspecific competition and soil patchiness, *Journal of Vegetation Science* 14 (2003) 79-88.
  10. Barot, S., Gignoux, J., Vuattoux, R., & Legendre, S. (1999b). Demography of a savanna palm tree in Ivory Coast (Lamto) : population persistence and life-history. *Journal of Tropical Ecology* (2000) 16:637-655.
  11. Barve, N., Barve, V., Valverde, A., J., & Lira-Noriega, A. (2011) The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecol Modell* 222:1810–1819. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.011>.
  12. Bayton, R. P. (2006). A revision of *Borassus* L. (Arecaceae). *KEW BULLETIN* 62: 561-586.
  13. Besag, J. (1977). Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper, *R Stat Soc B* 39 193-195
  14. Besag, J., & Diggle, P. J. (1977) Simple Monte Carlo tests for spatial pattern. *Appl Stat* 26:327–333.

15. Biaou, S., Gouwakinnou, G. N., Noulekoun, F., Salako K. V., Kpoviwanou J. M. R. H., Houehanou, T. D., et Biaou H. S. S., (2023) Incorporating intraspecific variation into species distribution models improves climate change analyses of a widespread West African tree species (*Pterocarpus erinaceus* Poir, Fabaceae). *Global Ecology and Conservation* 45 (2023) e02538.
16. Bouda, M. C. M. (2005). La gestion locale des rôneraies : Des incertitudes à l'espoir. <https://duddal.org/s/bibnum-promap/item/13400#?c=0&m=0&cv=0>.
17. Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H., Bollmann, K., 2013. Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*. 36, 971–983. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00138.x>.
18. Büttler R., (2000). Analyse de la distribution spatiale d'objets dans un paysage. Fiche d'enseignement. Lausanne, Suisse, École polytechnique fédérale de Lausanne, 17 p.
19. CASSOU, J. (1996). Le parc à rôniers (*Borassus aethiopum* MART) de Wolonkoto dans le sudouest du Burkina Faso: structure, dynamique, et usages de la rôneraie, 10.
20. Castagneri, D., & Motta, R. (2010) A research gap in the interactive effects of climate and competition on trees growth. In: Karam WP (ed) *Tree growth: influences, layers and types*. Nova Science, Hauppauge, pp93–102
21. Chardon, N. I., Pironon, S., Peterson, M. L., Doak, D. F., 2020. Incorporating intraspecific variation into species distribution models improves distribution predictions, but cannot predict species traits for a wide-spread plant species. *Ecography*. 43, 60–74. <https://doi.org/10.1111/ecog.04630>.
22. Christakos, G., Bogaert, P., & Serre, M. (2002) *Temporal GIS, with CD-ROM*. Springer, New York.
23. CLARK, J. P., EVANS, F. C., (1954). Distance to nearest neighbors a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35: 445-453.
24. Dan guimbo, I., Barrage, M., & Douma, S. (2012). Études préliminaires sur l'utilisation alimentaire des plantes spontanées dans les zones périphériques du parc W du Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(6): 4007-4017.
25. Diggle, P. J. (1983). *Statistical analysis of spatial point patterns*. Academic Press, London, UK.
26. Douffi, K. G. C., Koné, M., Traoré, A. S., Kouakou, A. A. F., & N'guessan, J. (2018). Influence des facteurs environnementaux sur la

- structure spatiale du peuplement rôniers (*Borassus aethiopum Mart.*) de la savane, au Centre de la Côte d'Ivoire. International Journal of Engineering Science Invention (IJESI) ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726 www.ijesi.org ||Volume 7 Issue 6 Ver II || June 2018 || PP 40-56.
27. FAO. (1988). Traditional food plants-policy and food nutrition, Paper 4, Vol. 42. ICRAF Agroforestry Data base.
  28. Fischer, M. M., & Getis, A. (2010). Hookbook of applied spatial analysis: software tools, Methods and applications; DOI 10.1007/978-3- 642-03647-7\_2, Hardcover.
  29. Frampton, G. K., Livoreil B., & Petrokofsky, G. (2017). Eligibility screening in evidence synthesis of environmental management topics. Environ Evid (2017) 6:27 DOI 10.1186/s13750-017-0102-2
  30. Gbesso, F., Akouehou, G., Tente, B., & Akoegninou, A. (2013). Aspects technico-économiques de la transformation de *borassus aethiopum mart* (arecaceae) au Centre-Bénin. Afrique SCIENCE 09(1). 159 – 173 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>.
  31. Gbesso, F., Yedomonhan, H., Tente, B., & Akoegninou, A. (2014). Distribution géographique des populations de rôniers (*Borassus aethiopum, Arecaceae*) et caractérisation phytoécologique de leurs habitats dans la zone soudano-guinéenne du Benin. J. Appl. Biosci. 74, 6099–6111p.
  32. Giffard, P. L. (1967). LE PALMIER RONIER *BORASSUS AETHIOPUM MART.* Revue Bois et forêts des tropique, n°116.
  33. Goovaerts, P., (1997). Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, Oxford.
  34. Goreaud, F., (2000). Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes ; Thèse de Doctorat, Option Sciences Forestières. ENGREF, Nancy, P. 526.
  35. Goreaud, F., et Pélissier R., (1999). On explicit formulas of edge effect correction for Ripley's K-function. Journal of Vegetation Science 10: 433-438, 1999.
  36. Havyarimana, F., Bogaert, J., Ndayishimiye, J., Barima, S. S. Y., Bigendako, M., Lejoly, J., Cannière C., (2013). Impact de la structure spatiale de *Strombosia scheffleri* Engl. et *Xymalos monospora* (Harv.) Baill. sur la régénération naturelle et la coexistence des espèces arborescentes dans la réserve naturelle forestière de Bururi, Burundi. Bois et forêts des tropiques , 2013 , n ° 316( 2 ).
  37. Hervé Dumez. (2011). Faire une revue de littérature : pourquoi et comment. Le Libellio d'AEGIS. (2 - Eté), pp.15-27. fhal-00657381f.

38. Hessou, A. F., (2011). Importance socioculturelle et statut de conservation de *borasus aethiopum* Mart. (Arecaceae) dans la réserve de biosphère transfrontalière du W du Niger et les terroirs riverains au Bénin. Mémoire. Université d'Abomey-Calavi Int. J. Biol. Chem. Sci. 16(5): 2158-2173.
39. Issiaka, H. (2018). Gestion durable et valorisation des ressources de la rôneraie du Dallol Maouri (GayaDioundiou/sud-ouest du Niger). Annales de l'Université de Moundou, Série A - Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Vol.5(2).
40. Jinga, P., Liao, Z., Nobis, M.P., (2021). Species distribution modeling that overlooks intraspecific variation is inadequate for proper conservation of marula (*Sclerocarya birrea*, Anacardiaceae). Glob. Ecol. Conserv. 32, e01908 <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01908>.
41. Kabore, P. N., Barbier, B., Ouoba, P., Kiema, A., Somé, L., & Ouedraogo, A. (2019). Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, 19(1) : 15- 19 ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.24637>.
42. Kanda, R. Z., Da, S. S., Maârrouhi, I. M., Issoufou, A. A., & Ouattara D., (2024). Assessment of Climate Change Impact on Future Distribution of Palm Trees in Niger, West Africa. Discover Sustainability. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00387-z>.
43. Mitchell. (2005). The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics, ESRI Guide to GIS analysis.
44. Ohin, B. M., Kifouli, A., Noumavo, P. A., Kouhoude, S. H. S., Garba, K., Tovide, N. S., Ogoua S., Baba-Moussa, L., Toukourou, F., & Baba-Moussa, F. (2018). Technological Processes Itinerary and Socio-economic Impact Assessment of *Borassus aethiopum* Hypocotyles "Agonté" Produced in Centre of Benin Republic. Food and Public Health 8(2) 35-41. DOI: 10.5923/j.fph.20180802.01.
45. Ouédraogo, A., Thiombiano, A., & Guinko, S. (2005). Utilisation, état des peuplements et régénération de cinq espèces ligneuses utilitaires dans l'Est du Burkina Faso. In : Boussim IJ, Lykke AM, Nom-bré I, Nielsen I, Guinko S, eds. Homme, plantes et environnement au Sahel occidental. Serein Occasional Paper no19. Copenhagen : Institute of Geography.
46. Pearman, P. B., D'Amen, M., Graham, C. H., Thuiller, W., Zimmermann, N. E., (2010). Within-taxon niche structure: niche conservatism, divergence and predicted effects of climate change.

- Ecography. 33, 990–1003. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06443.x>.
47. Pechenik, J. A., (2023). Geographical Distribution. P 346–372 <https://doi.org/10.1093/oso/9780197575260.003.0013>.
  48. Péliissier, R., & Goreaud, F. (2001) A practical approach to the study of spatial structure in simple cases of heterogeneous vegetation. *J Veg Sci* 12:99–108.
  49. Phillips, S., J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31:161–75. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>.
  50. Pommerening, A. (2002) Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75: 305–324. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/75.3.305>
  51. Pommerening, A. (2006) Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224: 266–277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.039>.
  52. Rabiou, H., Diouf, A., Bationo, B. A., Segla, K. N., Adjonou, Kokutse K., Adzo, D., Radji, R., Kokou, K., Mahamane, A., Saadou M., (2015). Structure des peuplements naturels de *Pterocarpus erinaceus* Poir. dans le domaine soudanien, au Niger et au Burkina Faso. *Bois et forêts des tropiques*, n° 325 (3).
  53. Rds. (2021). Evaluation de l'état de la biodiversité et de ses différentes menaces au Sénégal. *Projet de facilitation d'engagements pour la biodiversité au Senegal (biodev2030)*, 74 p
  54. Ripley, B., D. (1977). Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society, series B (methodological)* 39 172-212.
  55. Ripley, B., D. (1981). *Spatial statistics*. Wiley, New York, New York, USA.
  56. Ruprecht H., Dhar A., Aigner B., Oitzinger G., Klumpp R., & Vacik H. (2010) Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European Journal of Forest Research* 129: 189– 198. <http://dx.doi.org/10.1007/s10342-009-0312-4>
  57. Salako, V. K., Assogbadjo A. E., Adomou, A. C., Agbangla, C., & Kakai, L. G. (2015). Latitudinal distribution, co-occurring tree species and structural diversity of the threatened palm *Borassus aethiopicum* (*Areaceae*) in Benin, West Africa. *Plant Ecology and Evolution* 148 (3): 335–349, 2015 <http://dx.doi.org/10.5091/plecevo.2015.1046>.
  58. Salako, V. K., Vihotogbe R., Houehanou, T., Sode, I. A., & Kakai, R. G. (2018). Predicting the potential impact of climate change on the declining agroforestry species *Borassus aethiopicum* Mart. in Benin: a

- mixture of geostatistical and SDM approach. *Agroforest Syst* <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0262-2>.
59. Sambou, B. (1989). Rônier *Borassus aethiopum* Mart. et rôneraies au Sénégal : état actuel et condition de restauration. Thèse de doctorat de troisième cycle en sciences de l'environnement Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
  60. Sambou, B. (2004). Évaluation de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et subguinéen au Sénégal. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, 248p.
  61. Skowronek, S., Kerchove, R., Rombouts, B., Aerts, R., Ewald, M., Warrie, J., & Feilhauer, H. (2018). Transferability of species distribution models for the detection of an invasive alien bryophyte using imaging spectroscopy data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 68, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.02.001>.
  62. Teague, W. R., Dowhower, S. L., & Waggoner, J. A. (2004). Drought and grazing patch dynamics under different grazing management. *J Arid Environ* 2004; 58 : 97-117.
  63. Thione, L. A & Sambou, Bi. (2004). Impact de l'exploitation des feuilles sur la production foliaire et la fructification du rônier. Homme, plantes et environnement au Sahel occidental Actes de l'atelier de Fada N'Gourma (Burkina Faso), 6-9 Décembre 2004.
  64. Traoré, S. D., Kouyate, A. M., Dembélé, U., Tougiani, A., & Samaké, I. (2021). Compétitivité des chaînes de valeurs des jus de *Borassus aethiopum* et *Saba senegalensis* au sud du Mali. Ch. 12, pp. 195-209. In Profizi J.-P. et al. (éd.), : Biodiversité des écosystèmes intertropicaux. Connaissance, gestion durable et valorisation. Marseille, IRD Éditions, coll. Synthèse, 784.
  65. Traoré, S., Kouassi, K. I., Koné, M., Gignoux J., et Barot, S., ( 2022). Spatial patterns of a savanna palm tree *Borassus aethiopum* and its temporal variability Amara. *JOURNAL OF PLANT ECOLOGY* | <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac029>.
  66. Yameogo, J., Samandoulgou, Y. & Belem, M. (2016). Le rônier (*Borassus akeassii* B.O.G.) dans les parcs agroforestiers à Kokologho, Sakoinsé et Ramongo dans la province du Boulkiemdé, Centreouest du Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*. 100, 9557-9.