

Influence des facteurs environnementaux sur la structure spatiale du peuplement rôniers (*Borassus aethiopum* Mart.) de la savane, au Centre de la Côte d'Ivoire.

Douffi Kouakou Guy-Casimir¹, Koné Moussa¹, Traoré Amara Sidiki¹,
Kouakou Amany Allégué Florentin¹, N'guessan Joachim¹

¹ (UFR Sciences de la Nature / Université Nangui Abrogoua, UNA - Côte d'Ivoire)
Corresponding author : Douffi Kouakou Guy-Casimir

Résumé: Ce travail vise à déterminer l'influence des facteurs environnementaux, tels que la température au sol et l'humidité au sol, sur la répartition de *Borassus aethiopum* Mart., de la réserve de Lamto et de sa périphérie, en zone de transition forêt-savane. Les modèles d'analyses dont les multidistances (Fonction $K(r)$ de Ripley) et les plus proches voisins (Average Nearest Neighbor) ont été appliqués pour déterminer la structure extrinsèque des rôniers. L'appariement de grappes basé sur l'analyse de grappes et des valeurs arbitraires (Anselin Local Morans I) a été utilisé pour la structuration intrinsèque. Les images Landsat 8 ont été utilisées pour les calculs environnementaux d'humidité et de température au sol à l'aide des algorithmes NDWI (Normalized Difference Water index) et LST (Land Surface Temperature) formulés dans le logiciel ENVI 5.1. Le croisement dans le SIG des données environnementales à l'appariement de grappes permet de faire ressortir l'influence environnementale à travers l'allure des réponses des grappes et l'abondance des plantes. Il ressort de cette étude que les rôniers sont repartis au stade plantule en agrégat, de caractère hétérogène. Celle des adultes présentent une répartition aléatoire avec un caractère homogène. Les rôniers sont plus abondants avec des allures de réponses unimodales dans les savanes arbustives de la réserve contrairement à celles des périphéries. Les températures et humidités favorables à l'abondance sont respectivement de 26,6 à 26,8°C et d'indices 0,09 à 0,10. A la périphérie, les températures sont chaudes, humides et instables. Notre analyse montre que les facteurs environnementaux contrôlent la répartition des rôniers.

Mots-clés : Structure spatiale, *Borassus aethiopum* Mart., Télédétection / SIG, facteurs environnementaux, Lamto, Côte d'Ivoire.

Date of Submission: 25-05-2018

Date of acceptance: 11-06-2018

I. Introduction

La zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire est caractérisée par une forte présence du palmier rônier, *Borassus aethiopum* Mart. (Arecaceae). C'est une espèce monophylétique, paléotropicale pantropicale à polytropicale, et se rencontre depuis l'Afrique tropicale occidentale jusqu'en Nouvelles Guinées [1]. Le rônier permet de stocker une quantité importante de carbone dans sa biomasse. Dans la réserve de Lamto, elle est estimée à 20,4 tC/ha en hypogée et à 52 tC/ha en épigée [2]. Le palmier rônier détient une biomasse et une production primaire net de 23 tonnes/ha (1,6 T/ha/an) contre 14 tonnes/ha (1,4 T/ha/an) pour les autres arbres [3]. Il joue donc un rôle primordial dans la séquestration du carbone et à l'atténuation des effets du changement climatique [2,4]. De plus, il constitue avec les autres palmiers le groupe de plantes à fleurs le plus importante, surtout pour le bien-être économique et écologique des régions tropicales d'Afrique et du monde. Ils constituent le troisième groupe de plantes utilitaires au monde [5]. Le rônier compte parmi les ressources naturelles servant à se nourrir, se soigner et se loger [6]. Il est utilisé en agroforesterie au Burkina et au Tchad ou dans le reboisement extensif de l'environnement Sahélien du Nigeria [7]. Dans ces pays, les sous-produits sont exploités, sans toutefois tuer l'arbre. En Côte d'Ivoire, comme dans nombre de pays tropicaux, les rôniers sont tués par une incision à mort, pratiquée pour récolter du vin de palme. L'exploitation destructrice par l'homme qui utilise la feuille, le fruit, le bois ou la sève, cause d'énormes dégâts dans le peuplement rôniers dus à l'absence de mesure de protection [6,8]. A cela pourrait s'ajouter la raréfaction due à l'érosion de l'espèce. Cette menace est devenue critique avec son intégration à la liste des espèces bénéficiant des mesures locales de protection particulière [8,9].

La menace sur le rônier implique des mesures de conservation qui passe par la compréhension des modèles spatiaux de distribution de cette espèce. Des principes de modélisation issus de la statistique classique [10,11] et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) [12,13] ont été d'un atout considérable dans la

mise en évidence de l'arrangement spatiale des palmiers. Les facteurs incriminés dans l'influence de la répartition de plusieurs espèces à l'échelle paysagère, régionale et continentale sont l'élévation, les températures, l'humidité au sol, voire les changements globaux [14,15], d'où l'hypothèse de la niche écologique ou d'habitat convenable [13] qui formaliserait la relation entre une espèce et son environnement.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur l'écologie du rônier en Côte d'Ivoire. Ils ont porté essentiellement sur la biodémographie [16,17], la structure et la dynamique [10,17,18]. L'étude menée par Barot & Gignoux [10] a porté sur la structure spatiale et les interactions entre les rôniers et les buttes de termites. L'interaction positive entre les rôniers et son environnement, justifiée par les nutriments, ne peuvent expliquer à elles seules les variations de sa distribution dans le milieu. C'est pour pallier cette insuffisance que la présente étude a été entreprise.

Ce travail a pour but de contribuer à la gestion et préservation des palmiers rôniers par l'étude de l'influence des facteurs environnementaux sur son mode de répartition. Il s'agit plus spécifiquement :

- de déterminer la structure globale (structure extrinsèque) des cohortes d'âges du rônier et,
- de déterminer l'influence environnementale sur l'abondance du rônier au sein de la structure intrinsèque.

II. Matériel Et Méthodes

2.1. Description de la zone d'étude

L'étude a été menée dans la réserve de Lamto, au centre de la Côte d'Ivoire. Elle est située entre les latitudes nord 6°10'53" et 6°15'20" et entre les longitudes ouest 4°58'42" et 5°2'53". Elle couvre une superficie de 2617 ha [19]. La température moyenne en 2015 est de 28,57°C et une précipitation annuelle est de 1477,7 mm. La saison sèche part de décembre à janvier, puis de juillet à août (Station Géophysique de Lamto). Les sols sont de type ferrallitique avec 60 à 90% de sable et pauvre en matière organique (1,2 à 2% en surface, 0,5 à 1,5% à 25 cm en profondeur) et très pauvre en azote (moins de 1‰). Le pH acide se maintient entre les valeurs de 5 et 6,5 [20]. La réserve de Lamto est localisée dans le secteur préforestier du domaine guinéen. Cette zone est caractérisée par la présence de savanes guinéennes. C'est une mosaïque de forêts et de savanes [21].

2.2. Matériel

Diverses sources de matériel ont servi à cette étude. Le matériel biologique est constitué de l'espèce de palmier rônier, *Borassus aethiopicum* Mart. (Arecaceae). L'étude a également utilisé l'image satellitaire de Landsat 8 téléchargée sur le site internet "Earthexplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Il s'agit de l'image multibande de la scène 196 – 056 du 27 décembre 2015. Les capteurs thermiques (Thermal Infrared Sensor, TIRS 10/11) et les bandes multispectrale ont servi de matériel de calcul de paramètres environnementaux. Le satellite Landsat 8 a été lancé en février 2013 dans le cadre LDCM (Landsat Data Continuity Mission), pour assurer la continuité des données. Landsat 8 porte deux capteurs. Il s'agit du capteur multispectral, OLI+ (Operational Land Imager Plus), avec sept (7) bandes dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge. Le second capteur est celui de l'infrarouge thermique (TIRS, Thermal Infrared Sensor), comprenant deux bandes pour une longueur d'onde de 10,30 à 11,30 μm et 11,50 à 12,50 μm , respectivement pour les bandes 10 et 11. Landsat 8 possède une résolution spatiale affinée allant de 15 à 100 m en fonction des bandes spectrales (Tableau 1). Chaque scène de capture couvre une superficie de 185 x 185 Km. Ces images permettent d'obtenir des indications précises sur la déforestation ou tout autre phénomène à la surface de la terre. L'utilisation des données thermiques de Landsat dans l'évaluation et le suivi de la sécheresse au cours des dernières années a été un facteur clé pour le lancement du capteur TIRS. Notre étude a utilisé les bandes 2 à 7 du multispectral et les bandes 10 et 11 du thermique (Tableau 1), pour le fait que certaines bandes contiennent des informations spectrales nécessaires à l'extraction des facteurs environnementales dont l'activité végétale, l'humidité et la température au sol.

Plusieurs logiciels et outils ont servi au traitement de données de terrain et des images satellitaires. Il s'agit de :

- GPS Garmin (Global Positioning System), pour collecter les coordonnées géographiques des rôniers ;
- DNR garmin, pour télécharger les données du GPS ;
- ENVI 5.1 ©2013 Exelis Visual Information Solutions, Inc., pour les traitements numériques des images ;
- QGIS 2.12.3-Lyon (©1989-1991) et ArcGIS 10.2.2 (©1995-2014 Esri Inc.), pour la digitalisation des cartes, la réalisation d'une cartographie et la modélisation intégrée dans un SIG ;
- MS Excel 2013, pour le traitement des données alphanumériques.

Tableau 1 : Caractéristiques des bandes Landsat 8 utilisées (* : non prise en compte).

Satellites	Sonde	Année	Résolution	Longueur d'onde (µm)	Bandes spectrales
Landsat 8	OLI	2015	30 m	Band 1 : 0.435 – 0.451	Aérosols*
				Band 2 : 0.452 – 0.512	Bleu (visible)
				Band 3 : 0.533 – 0.590	Vert (visible)
				Band 4 : 0.636 – 0.673	Rouge (visible)
				Band 5 : 0.851 – 0.879	IR proche
				Band 6 : 1.566 – 1.651	IR moyen 1
				Band 7 : 2.107 – 2.294	IR moyen 2
			15 m	Band 8 : 0.500 – 0.680	Panchromatique*
			30 m	Band 9 : 1.363 – 1.384	Cirrus*
			100 m	Band 10 : 10.30 – 11.30	IR thermique
				Band 11 : 11.50 – 12.50	IR thermique

2.3 Méthodes

2.3.1. Détermination de la structure spatiale globale (extrinsèque) des rôniers

2.3.1.1. Dispositif et échantillonnage

L'inventaire des rôniers s'est effectué à l'aide d'un GPS, en système de coordonnées projetés (x ; y), UTM (Universal Transvers Mercator) dans le WGS 84 (World Geodesic System) de la Zone 30 Nord. Il a consisté à noter les coordonnées géographiques de chaque individu d'espèce de rônier. Cet inventaire a permis la création d'une base de données. Le dispositif de quadrat utilisé est semblable à celui de Barot & Gignoux [10], avec une taille de l'ordre de plus d'une unité d'hectare, laquelle taille est raisonnable pour l'étude du comportement des espèces d'arbres dans les écosystèmes savanes [10,22]. Les tailles utilisées sont de 250 x 300 m (7,5 ha) et 150 x 250 m (3,75 ha) pour respectivement la parcelle de savane arbustive à l'intérieur et hors réserve. Les stades ontogéniques des individus de la population de rônier ont été définis sur la base des caractères morphologiques [10,23]. Ces stades ontogéniques sont présentés dans la figure 1. Il s'agit des stades : Plantules à feuilles entières (P1), Plantules à feuilles en éventails ou fendues (P2), Juvéniles (J) et Adultes (A).



Figure 1: Différents stade de développement du rônier.

[Plantules à feuilles entières (a), Plantules à feuilles fendues (b), Juvéniles (c) et Adultes (d)].

2.3.1.2. Création de champs de pondération géographique dans base de données

La pondération a pour but d'assigner un poids aux facteurs pour la production des cartes d'aptitude [24]. Le Système d'Information Géographique (SIG) permet d'effectuer certaines analyses de modèle spatiale à partir du poids des points incidents [25]. Cela nécessite parfois la création de champ numérique de pondération semblable à la pondération de facteurs dite de Saaty [24]. Cette pondération est effectuée suivant le nombre de points le plus proche de chaque point de référence, sur la base d'un rayon de recherche. L'outil "jointure spatiale" de ArcGIS a été appliqué afin de regrouper les entités assez proches en un champ numérique dénommé "join_count". Ce champ définit le nombre d'incidents (emplacements) des arbres de rôniers et est nécessaire à l'analyse multidistance (Ripley) ainsi qu'à l'analyse de grappes et de valeurs aberrantes (Anselin Local Morans I). Cette variable désigne les niveaux du découpage des entités ponctuelles en entités géographiques. Dans sa réalisation, les entités cibles et les attributs des entités jointes sont écrits dans la classe d'entités en sortie en fonction des relations spatiales [26]. Il faut signifier que la note de pondération est subjective et dépend entièrement de l'analyste. Cependant, le paramétrage de la jointure spatiale nécessite un meilleur choix de rayon de la fenêtre de recherche. Ainsi, la distance de regroupement des incidents de rôniers allant du stade plantules à feuilles entières au stade juvéniles est fixée à 0,5 m, tandis que les adultes à 5 m.

2.3.1.3. Fonction K de Ripley

L'outil d'analyse d'agrégat spatial multidistance de ArcGIS, basé sur la fonction K de Ripley [27,28], est une méthode parmi tant d'autres permettant d'analyser le motif spatial de données ponctuelles incidentes. Elle examine l'évolution de l'agrégation/dispersion des entités à différentes distances (échelles d'analyse). La sélection d'une échelle d'analyse appropriée est nécessaire par le choix d'une distance seuil. De plus, le nombre de distances à évaluer et éventuellement une distance initiale et/ou un incrément de distance sont spécifiées car jugé nécessaire pour l'analyse. Avec ces informations, l'outil calcule le nombre moyen d'entités voisines associées à chaque entité ; les entités voisines sont celles plus proches que la distance évaluée. L'incrément de distance de l'ordre d'un (1) mètre, pour 50 mètres de bandes de distance, a été utilisée comme itération de l'analyse. L'enveloppe de confiance de 99 permutations a été appliquée afin que l'outil distribue aléatoirement l'ensemble de points 99 fois pour chaque itération selon le caractère CSR (Complete Spatial Randomness, caractère aléatoire spatial complet). La correction des effets de facteurs de bord, règlementée par une formule de correction des tronçons de Ripley, a été appliquée pour éviter l'interprétation erronée sur l'analyse d'une gamme plus large de vraies données de champ [29].

▪ **Calcul de la fonction Ripley**

Des modifications sur la fonction K (r) originelle de Ripley [27] ont été suggérées. Celle nommée fonction L(d) de Besag [30] a été implémentée dans cette étude comme le montre l'expression ci-après :

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

Avec d, la distance ; n, le nombre total d'entité ; A, la surface totale du dispositif et $K_{i,j}$, le poids. Si aucune correction de bord n'est appliquée, le poids est égal à 1 lorsque la distance entre i et j est inférieure à d. Avec l'application de la méthode correction de bord, $K_{i,j}$ est légèrement modifié.

▪ **Interprétation du modèle**

La distribution est plus agrégée qu'une distribution aléatoire à une distance particulière (échelle d'analyse), lorsque la valeur K observée est plus grande que la valeur K attendue. Par ailleurs, la distribution est plus dispersée qu'une distribution aléatoire à cette distance, lorsque la valeur K observée est plus petite que la valeur K attendue. L'agrégation spatiale pour cette distance est statistiquement significative lorsque la valeur K observée est au-dessus de l'intervalle de confiance (supérieur à $H_{iConfEnv}$). Lorsque la valeur K observée est en dessous de l'intervalle de confiance (inférieur à $L_{wConfEnv}$), la dispersion spatiale est significative.

2.3.1.4. Analyse du plus proche voisin, Average Nearest Neighbor (ANN)

L'analyse de modèle spatiale ANN [25,28] a été effectuée pour combler les insuffisances statistiques de la méthode de Ripley, telles que la détermination du seuil de probabilité, la distance moyenne d'agrégation et le poids de la distribution (score z à un niveau de confiance correspondant à l'écart type) sur un même site. Ce modèle de distribution a été possible dans le SIG, grâce au logiciel ArcGIS. L'analyse permet de mesurer la distance entre chaque centroïde d'entité et l'emplacement du centroïde de son plus proche voisin. Il fait alors la moyenne de toutes les distances de voisin le plus proche. Si la distance moyenne est inférieure à la moyenne calculée pour une distribution aléatoire hypothétique, la distribution des entités analysées est considérée comme agrégée. Si la distance moyenne est supérieure à celle de la distribution aléatoire hypothétique, les entités sont considérées comme dispersées. La moyenne de voisin le plus proche est égale à la distance moyenne observée divisée par la distance moyenne attendue (la distance moyenne attendue se fonde sur une distribution aléatoire hypothétique avec le même nombre d'entités recouvrant la même superficie totale).

2.3.2. Détermination de l'effet des facteurs environnementaux sur l'abondance de rônier

Certains facteurs du milieu dont la disponibilité en l'eau et en nutriments ont une influence sur la répartition et l'abondance des rôniers [10]. D'autres parmi ces facteurs peuvent être caractérisés par des indices ou des valeurs concrètes, obtenues par traitements d'images. Il s'agit de ceux utilisés dans cette étude avec l'indice d'humidité au sol, NDWI [31] et la température au sol, LST [32].

2.3.2.1. Calcul de l'indice d'humidité, Normalized Difference Water Index (NDWI)

Nombreuses sont les indices d'humidité proposés dans la littérature. Certains indices sont utilisés en télédétection comme indicateurs d'état climatique (sécheresse, stress végétal). Il s'agit entre autre de "Enhanced Wetness Difference Index", EWDI [33], le "Normalized Difference Water Index", NDWI [31] ou le NDWI modifié, MNDWI [34]. L'algorithme NDWI a été utilisé pour sa facilité d'application et d'extraction avec succès de divers régions humides [31,34]. Le NDWI est obtenu par le rapport de deux (2) canaux sur les images Landsat. Il s'agit du canal du proche infrarouge (PIR) et du moyen infrarouge (MIR). Cet indice n'est pas une estimation de l'eau contenue dans le sol, mais plutôt un indicateur. Cela répond à la présence d'eau dans la surface du sol et dans la végétation. Il est calculé grâce au logiciel ENVI à partir de la formule de la combinaison de bandes suivante [31] :

$$NDWI = (PIR - MIR) / (PIR + MIR) \dots \dots \dots (2)$$

NDWI, Normalized Difference Water Index,

PIR, bande spectrale proche infrarouge (canal 4) et, MIR, la bande spectrale moyen infrarouge (canal 5).

2.3.2.2. Calcul de la température de surface au sol (LST)

La détermination de la température au sol nécessite le calcul de la Température de brillance (TB). La calibration radiométrique permet de transformer les images brutes du thermique en Température de brillance exprimée en degré Celsius (°C) d'après l'équation reformulée de Planck [35]:

$$TB = [K2 / \ln(K1/L\lambda + 1)] - 273,15 \dots\dots\dots (3)$$

Lλ est la radiance spectrale (W m² μ m⁻¹ sr⁻¹). Pour la bande thermique B₁₀ de Landsat 8, K1 et K2 sont respectivement de 774,89 et 1321,08, tandis que pour la bande B₁₁, K1 et K2 sont de 480,89 et 1201,14.

La température de surface (LST) détermine le bilan énergétique radiatif de la surface de la terre. Elle est calculée à partir de mesures du rayonnement dans l'infrarouge thermique et de l'émissivité des surfaces. La LST a été déterminée grâce au logiciel ENVI selon l'algorithme Split-Window utilisant le seuillage de l'indice de végétation normalisé, NDVI [32,36]. Elle s'exprime comme suit :

$$LST = [TB_{10} + C_1 (TB_{10} - TB_{11}) + C_2 (TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 W)(1 - m) + (C_5 + C_6 W)\Delta m] - 273,15 \dots\dots\dots (4)$$

Avec TB₁₀ et TB₁₁, les températures de brillance respectives des bandes 10 et 11. Les constantes sont indiquées dans le tableau 2 ci-dessous. Le calcul de l'émissivité moyenne (m) et la différence d'émissivité (Δm) des bandes 10 et 11 est détaillé dans le tableau 3.

Tableau 1 : Constantes utilisées dans le calcul de la température au sol

Constantes	Valeurs
C ₀	-0,268
C ₁	1,378
C ₂	0,183
C ₃	54,300
C ₄	-2,238
C ₅	-129,200
C ₆	16,400

Source: [32,36]

Tableau 2 : Expression de l'émissivité moyenne (m) et la différence d'émissivité des bandes (Δm)

Relation	Définition
$m = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2}$	(1) m = Emissivité moyenne du sol
$\Delta m = LSE_{10} - LSE_{11}$	(2) Δm=Différence d'émissivité thermique des bandes
$LSE_{10,11} = \epsilon_s (1 - FVC) + \epsilon_v \times FVC$	Pour la bande B ₁₀ , ε _s = 0,971 ; ε _v = 0,987 Pour la bande B ₁₁ , ε _s = 0,977; ε _v = 0,989
$FVC = \frac{(NDVI - NDVI_s)}{NDVI_v - NDVI_s}$	FVC= Fraction du couvert végétal NDVI= Indice Normalisé de la Végétation Différentielle NDVI _s (0,2)= Indice du sol NDVI _v (0,5)= Indice végétal

Source : [32,36,37]

2.3.2.3. Analyse de grappes et de valeurs aberrantes

L'analyse de grappes et de valeurs aberrantes (Anselin Local Morans I) est une méthode statistique de modélisation de la relation spatiale [28]. Elle a été utilisée pour récapituler les caractéristiques d'une distribution en décrivant la structure intrinsèque. Contrairement aux précédentes modélisations spatiales, elle divise les données ponctuelles incidentes (emplacement) des rôniers en groupes caractéristiques similaires par une identification des agrégats spatiaux (hot spots / cold spots) statistiquement significatifs et des points aberrants [28]. Les endroits de forte concentration sont les "Hot-spot" et ceux de faible concentration sont les "Cold-hot".

Pour le paramétrage, la conceptualisation des relations spatiales par la "Distance Inverse" des entités a été appliquée afin que les entités voisines proches influencent plus fortement les calculs d'une entité cible. Le calcul entre les entités voisines est basé sur la distance euclidienne « distance à vol d'oiseau ». La standardisation par lignes (Row) a été appliquée pour échapper à une répartition influencée par la conception de l'échantillonnage [26]. La distance seuil de 300 mètres a été spécifiée pour ne considérer que les entités de la limite spécifiée. Du fait d'un nombre croissant d'emplacements rendant souvent complexe la signification statistique locale de la répartition de l'association spatiale, les comparaisons multiples et dépendantes sont aussi fondamentales dans analyse spatiale par la correction False Discovery Rate, FDR [38]. Le niveau de

signification statistique de la structure des individus a été évalué à un niveau de confiance et de score z (Tableau 4).

Tableau 3 : Valeurs p critiques corrigées utilisées par la correction FDR (False Discovery Rate) de l'analyse de grappe et l'analyse du plus proche voisin (ANN).

Score z (écarts types)	Valeur p (probabilité)	Niveau de confiance	Niveau d'agrégation
< -1,65 ou > +1,65	< 0,10	90%	Significatif
< -1,96 ou > +1,96	< 0,05	95%	Hautement significatif
< -2,58 ou > +2,58	< 0,01	99%	Très hautement significatif

2.3.2.4. Analyse de l'incidence des facteurs environnementaux sur les grappes de rônier

L'analyse de l'influence environnementale a conduit à la recherche de la niche écologique ou d'habitat convenable [13]. Celle-ci est basée sur la modélisation statistique d'événements de présence/absence et abondance [39] des modalités de grappes (hot spots / cold spots) définies dans l'analyse de l'appariement des grappes et de valeurs aberrantes (ALM I) à divers stades des rôniers. Les variables de prédiction environnementales que sont l'humidité (NDWI) et température au sol (LST) qui conviennent ont été recherchées. L'intersection des modèles environnementaux issus d'image satellitaire Landsat 8 et des grappes de rôniers a été possible grâce à la fonction "Intersect" du logiciel ArcGIS. Une requête spatiale a permis d'extraire les classes environnementales d'amplitude 0,2°C et 0,1 d'indice (respectives pour la LST et NDWI) associant les modalités de grappes (hot spots/ cold spots) récapitulées dans le champ "Cotype" que sont : les très fortes agrégations (HH, High-High Cluster), les très moyennes agrégations (HL, High-Low Outlier), les moyennes agrégations (LH, Low-High Outlier) et les très faibles agrégations (LL, Low-Low Cluster). Celles-ci constituent les agrégats significatifs. Les agrégats non significatifs désignés par « None » sont composés des individus à la répartition très isolés.

La fréquence de contribution à l'agrégation de chaque modalité de grappe a été déterminée sur la base d'abondance des individus à la réponse de l'environnement. L'allure de la courbe de la réponse des rôniers face aux facteurs environnementaux et le décalage de pas (pic d'abondance) ont été utilisées comme indicateur de perturbation [40]. Le résumé de la méthodologie ayant abouti à l'objectif général est illustré à la figure 2.

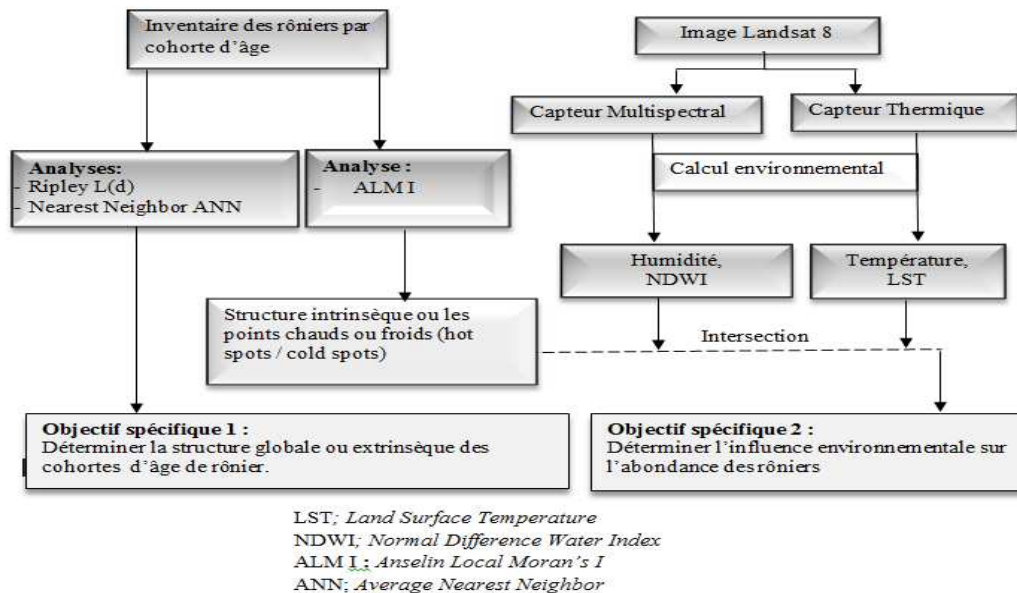


Figure 2: Schéma synthétique de la méthode de réalisation des objectifs spécifiques.

III. Résultats

3.1. Structuration globale des rôniers

3.1.1. Structure spatiale en fonction des cohortes d'âges de la réserve de Lamto

Le rônier présente au stade adulte (A) une répartition pratiquement disséminées sur l'étendue du plot comme l'indique la cartographie de la distribution des semis points (Figure 3). En se référant à la statistique spatiale, nous pouvons dire que l'analyse de la courbe L(d) de Ripley des rôniers adultes cartographiés est au-dessus de l'intervalle de confiance jusqu'à une distance de 12 m. Cette analyse révèle une distribution de type agrégée lorsque la distance entre les rôniers est en deçà de 12 m. Au-delà de 12 m, la courbe demeure

quasiment dans l'intervalle de confiance. Elle révèle donc une structure aléatoire des individus adultes (Figure 3). L'analyse du plus proche voisin confirme la distribution de type aléatoire avec une différence non significative $P= 0,51$ ($> 5\%$) et un score z de $-0,65$ (95 % d'intervalle de confiance). Etant donné ce score z , la probabilité que ce motif agrégé soit un résultat aléatoire est supérieur à 5%. Cette analyse révèle une distribution aléatoire pour les rôniers adultes. La distance moyenne observée est de 20,10 m.

Au stade juvénile (J), la répartition de *B. aethiopum* reste la plus déterminante par son étendue sur toute la parcelle. Par ailleurs, quelques zones de concentration de ces pieds ont été observées (Figure 4). L'analyse de la courbe $L(d)$ des rôniers juvéniles demeure au-dessus de l'intervalle de confiance à des faibles distances (< 10 m), ensuite, elle revient dans l'intervalle de confiance (distance > 10). Cette analyse révèle d'une structure spatiale agrégée qui tend vers une structure aléatoire en fonction de la distance de plus de 10 m (Figure 4). Pour ce stade, l'analyse du plus proche voisin confirme la distribution agrégative avec une différence hautement significative ($P < 1\%$) et un score z de $-7,99$ (99 % d'intervalle de confiance). Etant donné ce score z , la probabilité que ce motif agrégé soit un résultat aléatoire est inférieur à 1%. Cette analyse révèle à cette échelle une distribution agrégée pour les rôniers juvéniles. La distance moyenne observée est de 6,66 m.

La cartographie de la répartition des plantules présente plus de zone à fortes concentrations sur la parcelle. L'analyse des courbes $L(d)$ des plantules à feuilles entières (P1) montre une distribution agrégative sur le long de son intervalle de confiance, alors que celle des plantules à feuilles fendues (P2) demeurent agrégées jusqu'à 3 m (Figure 6) et, par la suite revenir dans l'intervalle de confiance pour une structuration de type aléatoire (Figure 5). Les analyses du plus proche voisin de P1 et P2 confirment des structures agrégatives avec une différence hautement significative ($P < 1\%$), avec des scores z respectifs de $-49,81$ et $-8,96$ (99 % d'intervalle de confiance). Etant donné ces scores z , la probabilité que ces motifs agrégés soit des résultats aléatoires sont inférieurs à 1%. Ces analyses révèlent à cette échelle des distributions agrégées pour les rôniers au stade plantule. Les distances moyennes observées sont respectivement de 0,70 et 7,28 m pour P1 et P2.

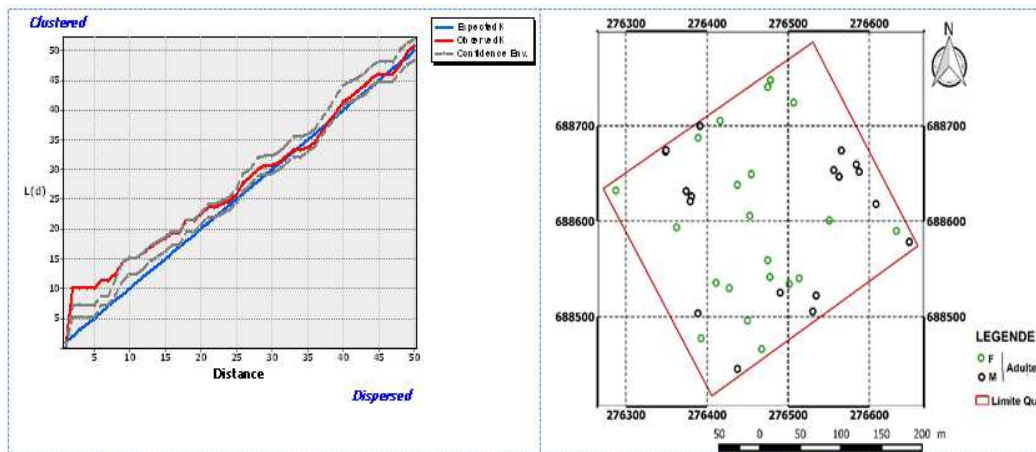


Figure 3 : Courbe et cartographie de la distribution des rôniers adultes (A) des savanes arbustives de la réserve de Lamto.

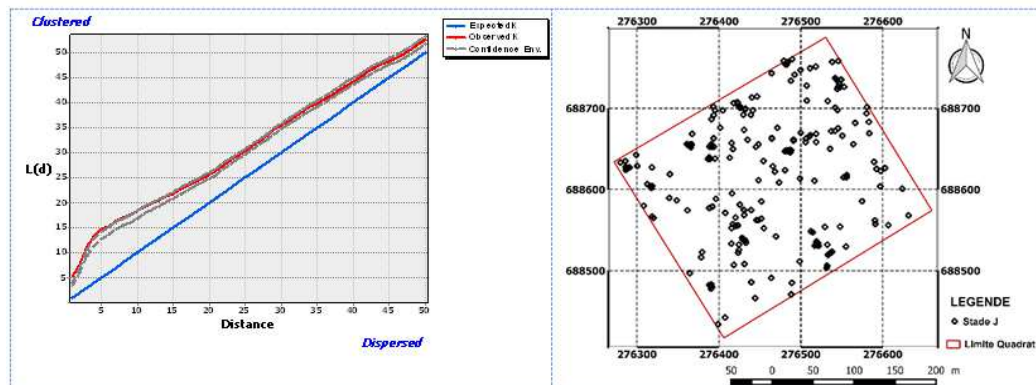


Figure 4 : Courbe et cartographie de la distribution des rôniers juvéniles (J) des savanes arbustives de la réserve de Lamto.

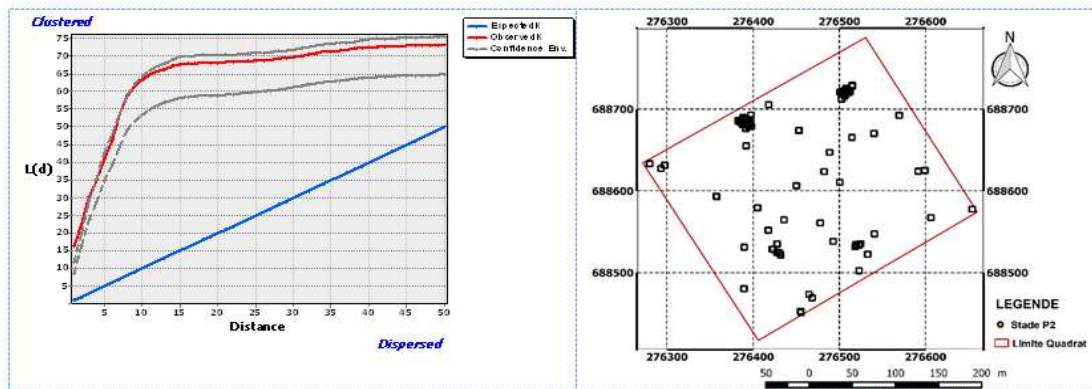


Figure 5 : Courbe et cartographie de la distribution des plantules de rôniers à feuilles fendues (P2) des savanes arbustives de la réserve de Lamto.

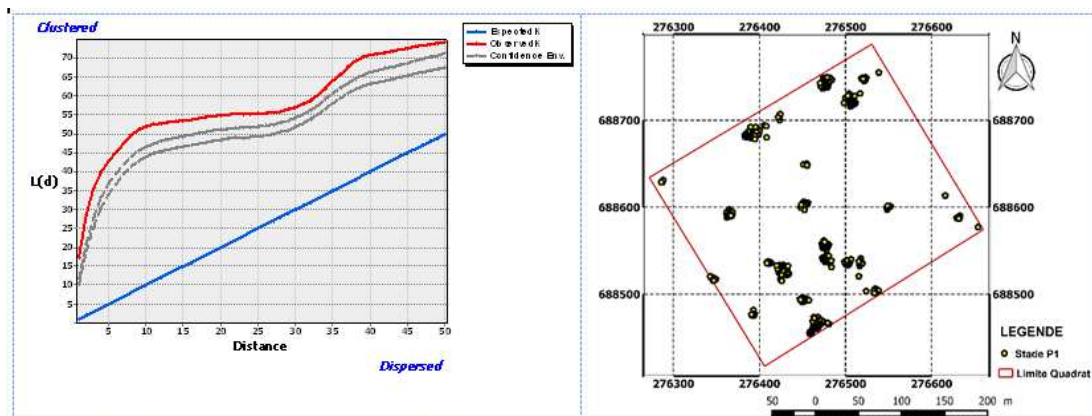


Figure 6 : Courbe et cartographie de la distribution des plantules de rôniers à feuille entières (P1) des savanes arbustives de la réserve de Lamto.

3.1.2. Structure spatiale en fonction des cohortes d'âges hors réserve

Le rônier présente au stade adulte (A) une répartition très faible sur l'étendue du plot comme l'indique la cartographie de la distribution des semis points (Figure 7). La courbe L(d) de Ripley fait état de la répartition des rôniers adultes en fonction de la distance (Figure 7). Elle illustre une variation dans la répartition, avec une structure agrégée jusqu'à une distance 13 m, en étant au-dessus de son intervalle de confiance. Au-delà de cette distance, elle s'insère dans l'intervalle de confiance. Ce qui caractérise une structure spatiale de type aléatoire. L'analyse du plus proche voisin confirme la distribution agrégative avec une différence relativement significative ($P=0,04$) et $-2,11$ (95 % d'intervalle de confiance). Etant donné ce score z, la probabilité que ce motif agrégé soit un résultat aléatoire est inférieur à 5%. Cette analyse révèle à cette échelle une distribution agrégée pour les rôniers adultes. La distance moyenne observée des adultes est de 15,80 m.

Au stade juvéniles (J), l'aire de répartition de l'espèce reste également assez déterminante par son s'étendue sur toute la parcelle. Par ailleurs, quelques zones de concentration de ces pieds ont été observés (Figure 8). La courbe L(d) de Ripley (figure 8), montre que la répartition spatiale des juvéniles (J) est agrégée sur les 19,82 m, car elle se situe au-dessus de l'intervalle de confiance. Au-delà de cette distance, la courbe est à l'intérieur de l'intervalle de confiance, caractérisant ainsi une structure aléatoire. L'analyse du plus proche voisin confirme la distribution agrégative pour les rôniers juvéniles avec une différence hautement significative ($P < 1\%$) et un score z de $-11,68$ (99% d'intervalle de confiance). Etant donné ce score z, la probabilité que ce motif agrégé soit un résultat aléatoire est inférieur à 1%. Cette analyse révèle à cette échelle une distribution agrégée pour les rôniers juvéniles. La distance moyenne observée est de de 3,92 m.

La cartographie de la répartition des plantules présente des zones à fortes concentrations en quantité relativement peu élevées. Les analyses des courbes ont montré la structure des plantules P1 et P2 (Figure 9 et 10). La figure 10 montre que la courbe L(d) de P1 reste en dehors de l'intervalle de confiance, tout en restant au-dessus de la limite supérieure. Elle témoigne de l'hétérogénéité de la répartition des plantules (P1) et du caractère agrégé. Cependant, la courbe des plantules P2 reste au-dessus de l'intervalle de confiance sur une distance de 22 m. Elle revient dans l'intervalle de confiance où elle y reste sur plus de 50 m (Figure 9). Les analyses du plus proche voisin de P1 et P2 confirment des structures agrégatives avec une différence

hautement significative ($P < 1\%$), et les scores z respectifs de $-26,77$ et $-16,01$ (99 % d'intervalle de confiance). Etant donné ces scores z , la probabilité que ces motifs agrégés soit des résultats aléatoires sont inférieurs à 1%. Ces analyses révèlent des distributions agrégées pour les rôniers plantules. Les distances moyennes observées sont respectivement de 1,24 m et 2,81 m, pour P1 et P2.

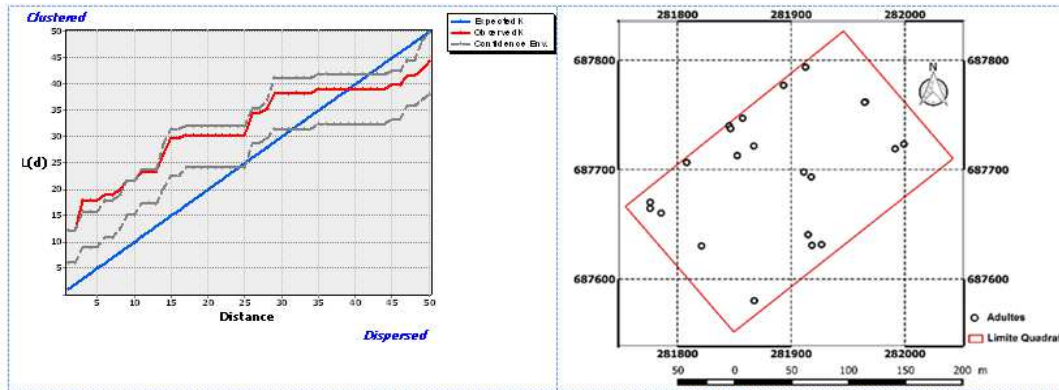


Figure 7: Courbe et cartographie de la distribution des rôniers adultes (A) des savanes arbustives hors de la réserve de Lamto.

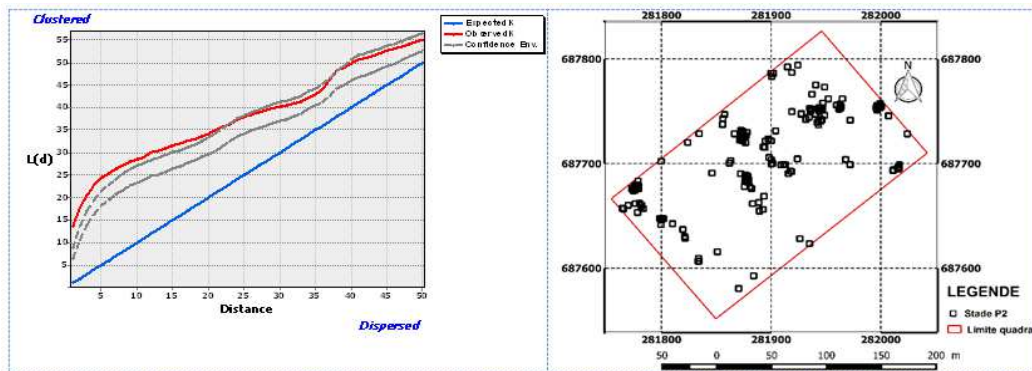


Figure 8: Courbe et cartographie de la distribution des rôniers Juvéniles (J) des savanes arbustives hors de la réserve de Lamto.

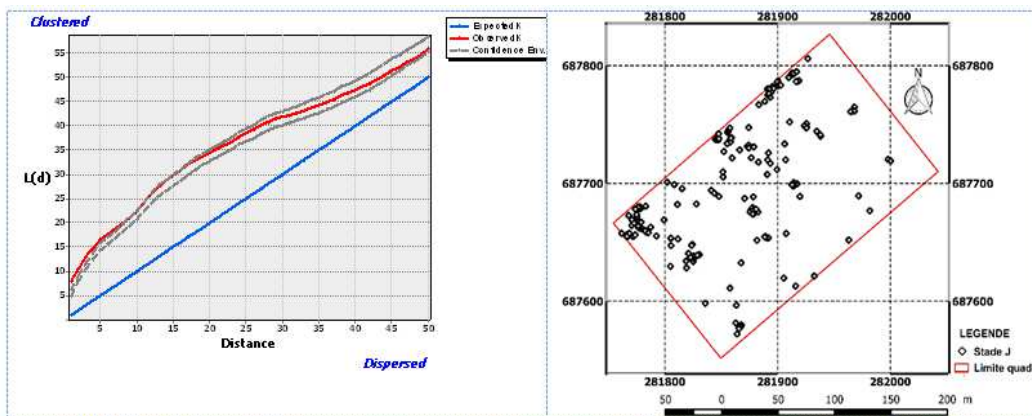


Figure 9: Courbe et cartographie de la distribution des plantules des rôniers à feuilles fendues (P2) des savanes arbustives hors de la réserve de Lamto.

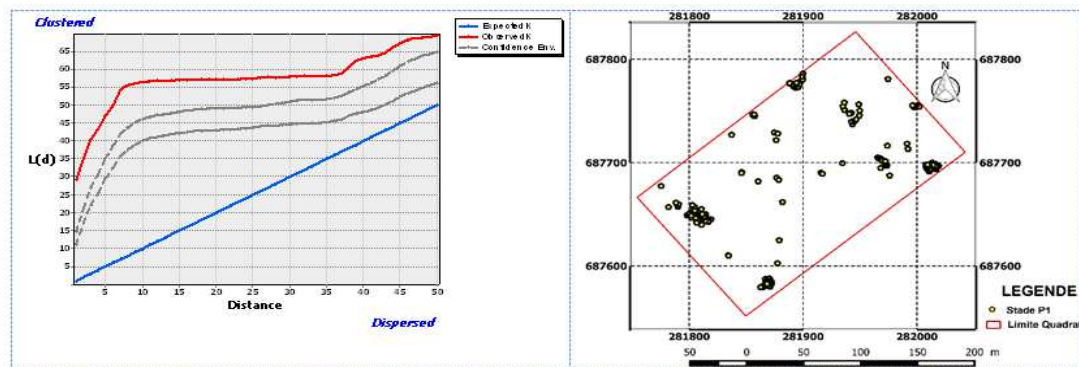


Figure 10: Courbe et cartographie de la distribution des plantules des rôniers à feuilles entières (P1) des savanes arbustives hors de la réserve de Lamto.

3.2. Facteurs environnementaux et structuration intrinsèque de grappes des rôniers

3.2.1. Influence de la température au sol (LST)

La relation entre la température au sol et l'abondance des grappes des plantules de rôniers de la réserve et hors réserve est respectivement illustrée par les courbes de la réponse environnementale (Figure 11 et 12). Les gammes de température au sol (LST) de la savane arbustive de la réserve se révèlent à l'échelle de Landsat 8 avec neuf (9) classes de valeurs comprises entre 25,6 et 27,4°C. Par contre, celles des savanes arbustives hors réserve présentent un nombre élevé de classes (22 classes) allant de 25,6 à 30°C, avec une amplitude plus large de température. Les températures favorables aux plantules à feuilles entières (P1) et fendues (P2) en réserve sont comprises entre les valeurs stables de 26,6 et 26,8°C. Cependant, la fréquence d'agrégation se situe entre la température élevée de 27 à 27,2°C et à plus de 28,2°C, pour respectivement P1 et P2 hors réserve. L'allure des courbes de réponse est unimodale en réserve. Hors de la réserve, les températures favorisant l'agrégation des plantules restent instables et, sont caractérisées par des allures de courbes de réponse multimodale. En réserve, l'abondance des rôniers des modalités significatives de la cohorte P1, pour la température favorable, montre des fréquences de plus de 60%. Outre les modalités d'agrégation faible (LL) de la cohorte P1 hors Lamto de fréquences 10%, les autres modalités significativement agrégés (HH et LH) ont présentés des fréquences de plus de 60 % à la gamme de température favorable. Au niveau de la cohorte P2, le site de la réserve présente 80% de fréquence des modalités significatives contre un peu plus de 30% hors réserve. Les basses fréquences observées hors réserve montrent l'influence de la température sur la taille des modalités d'agrégation des plantules. Seules les agrégations non significatives se forment au-delà des températures de 28,4°C. De plus, il s'opère une baisse la taille des modalités de grappes lors du passage du stade plantule à feuille entière (P1) au stade plantule à feuilles (P2). Elle passe de cinq à deux et de quatre à trois pour les sites respectifs de Lamto et hors réserve. Cela présente un passage de la structure au caractère hétérogène à un caractère homogénéité. A la température favorable à l'agrégation, les plantules de rôniers sont plus abondantes en réserve qu'à la périphérie de la réserve.

Les figures 13 et 14 montrent la relation entre la température au sol et l'abondance des grappes des rôniers juvéniles et adultes. La température au sol (LST) des rôniers juvéniles et adultes repartis au sein de la réserve de Lamto reste identique à celles des plantules avec des valeurs de température allant de 26,6 à 26,8°C, aussi bien pour les rôniers significativement agrégées ou non. L'allure de ces courbes est également unimodale en réserve. En dehors de la réserve de Lamto, la température favorable à l'agrégation se situe à un peu plus de 28,4°C avec des allures de courbes multimodales. La température au sol abritant les rôniers des savanes arbustives de la réserve de Lamto reste à une valeur stable de 26,4 à 26,8°C pour les modalités d'agrégation des rôniers quelques soit les cohortes d'âge. L'allure de la courbe de répartition de l'abondance est unimodale. Hors de cette réserve, les températures restent instables avec la courbe de l'abondance multimodale. Les modalités non significatives bien qu'en effectif considérable, subissent moins la température au sol. Seule les HH constituent la modalité significative dans les deux sites pour les cohortes juvéniles et adultes. La fréquence de cette modalité est plus élevée en réserve avec 50% contre 20% hors réserve pour la cohorte juvénile. Les cohortes adultes présentent des fréquences de 100% et 50% respectivement au sein de la réserve et hors. Les basses fréquences observées hors réserve montrent également l'influence de la température sur la taille des modalités d'agrégation des populations juvéniles et adultes. Les modalités de grappes restent stables lors du passage du stade juvénile à adulte. Cela montre une stabilité du caractère homogène à ces stades. A la température favorable à l'agrégation, des rôniers juvéniles et adultes sont plus abondants en réserve qu'à la périphérie de la réserve.

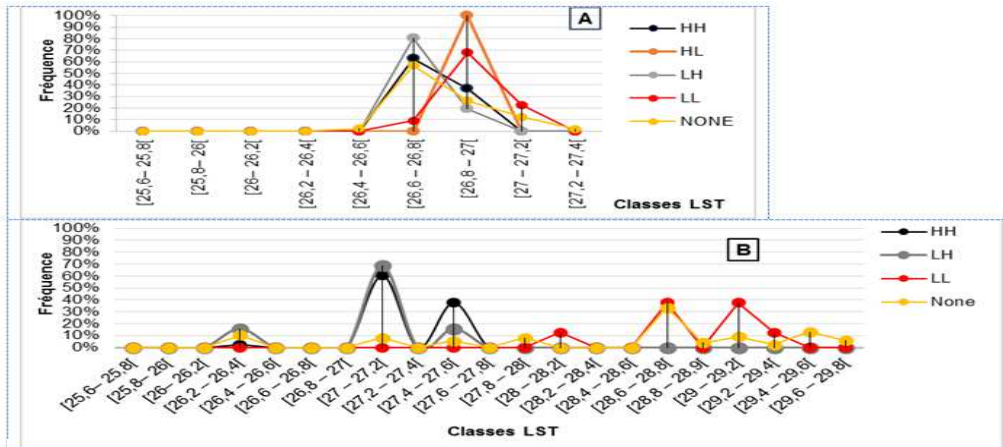


Figure 11: Réponses des plantules (P1) de rôniers par modalités d'agrégation en fonction des températures au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

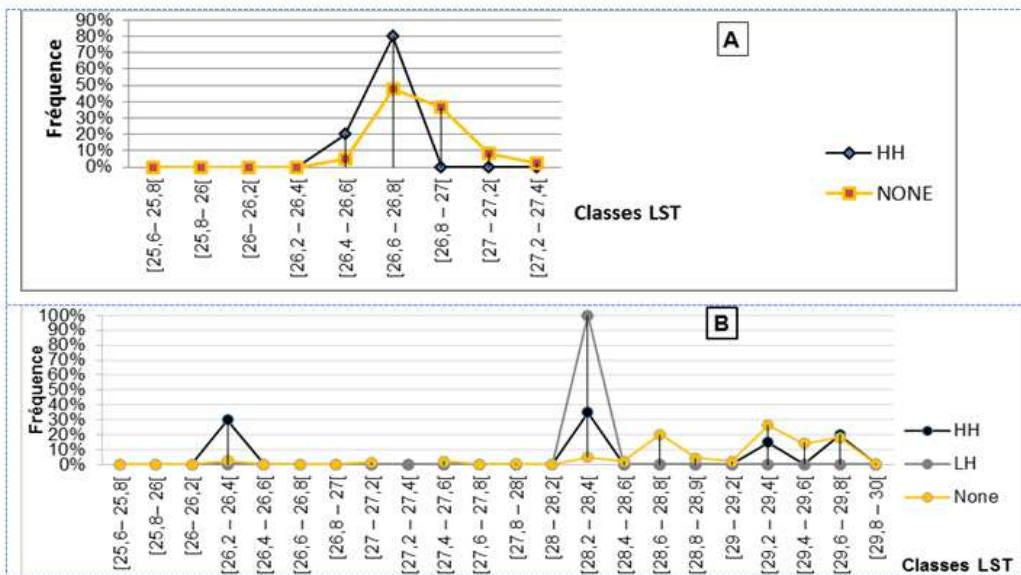


Figure 12: Réponse des plantules (P2) de rôniers par modalités d'agrégation en fonction des températures au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

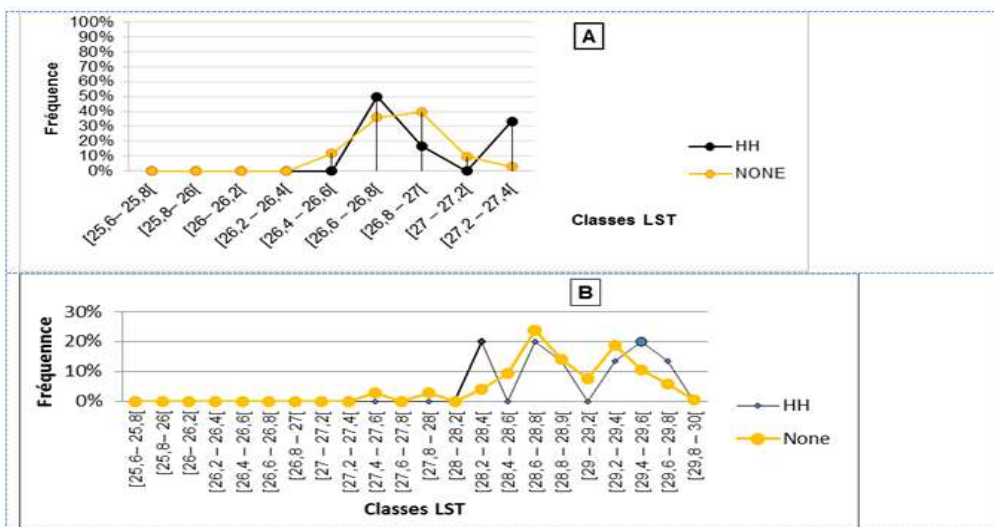


Figure 13: Réponse des rôniers jeunes (J) par modalités d'agrégation en fonction des températures au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

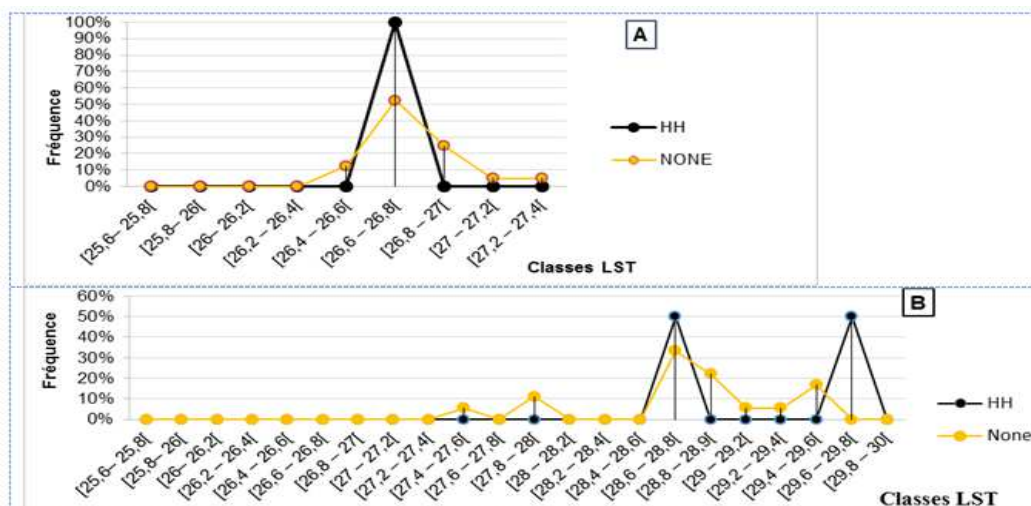


Figure 14: Réponse des rôniers adultes (A) par modalités d'agrégation en fonction des températures au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

3.2.2. Influence de l'humidité au sol (NDWI)

La réponse de l'agrégation des plantules de rôniers face à l'humidité au sol à l'intérieur et hors réserve est illustrée dans les courbes de la réponse des figures 15 et 16. L'humidité au sol (NDWI) de la savane arbustive de la réserve se révèle à l'échelle de Landsat 8 avec huit (8) classes de valeurs d'indices, comprises entre 0,07 et 0,15. Par contre, celle des savanes arbustives hors réserves présentent un nombre élevé de classes (11 classes) allant de 0,07 à 0,18. Les indices d'humidités favorables à l'agrégation des plantules à feuilles entières (P1) et fendues (P2) en réserve sont comprises entre 0,09 et 0,10. L'allure de ses courbes est unimodale en réserve. Hors réserve, l'humidité au sol favorisant les agrégations significatives des plantules restent instables, caractérisée par des allures de courbe bimodales. Cependant, la fréquence d'agrégation se situe entre l'indice d'humidité élevée de 0,13 à 0,14 et 0,14 à 0,15, pour respectivement P1 et P2. Outre les modalités les très faibles agrégations (LL) des cohortes P1 hors Lamto qui présentent des fréquences de 40%, les autres modalités significativement agrégées ont présentés des fréquences de plus de 60%. Au niveau des cohortes P2, seul le site de la réserve présente des modalités significatives de fréquence de 80% avec la modalité HH. Hors réserve, deux modalités prévalent. Il s'agit des HH et HL de fréquences respectives de 30 et 100%. Les basses fréquences observées hors réserve montrent l'influence de l'humidité sur la taille des agrégations des plantules. A la valeur d'indice d'humidité favorable à l'agrégation, les plantules de rôniers sont plus abondantes en réserve qu'à la périphérie.

Les figures 17 et 18 présentent la relation entre l'humidité au sol et l'agrégation des rôniers juvéniles et adultes. L'humidité au sol (NDWI) des rôniers juvéniles et adultes repartis au sein de la réserve de Lamto restent identiques à celles des plantules avec des valeurs d'humidité allant de 0,09 à 0,10, aussi bien pour les rôniers significativement agrégées ou non. La tendance de ces courbes de réponses est également unimodale au sein de la réserve de Lamto. En dehors de la réserve, l'indice d'humidité favorable à l'agrégation se situe à des valeurs instables de plus 0,12 à l'échelle d'indice de Landsat, soit de 0,14 à 0,15 et de 0,12 à 0,13 d'indices respectivement pour les populations juvéniles et adultes. Globalement, l'allure des réponses est multimodale pour toutes les modalités d'agrégations. Seules les très fortes agrégations (HH) constituent la modalité significative dans les deux sites pour les cohortes juvéniles et adultes. La fréquence de cette modalité est plus élevée en réserve avec 100 % contre un peu plus de 30 % hors réserve pour la cohorte juvénile. Les cohortes adultes présentent des fréquences de 100 % et 50 % respectivement au sein de la réserve et hors réserve. Les basses fréquences observées hors réserve montrent également l'influence de l'humidité sur la taille des modalités d'agrégation des populations juvéniles et adultes. Les agrégations non significatives demeurent les plus abondantes. Les modalités de grappes restent stables lors du passage du stade juvénile à adulte avec les HH et none. Cela montre une stabilité du caractère homogène à ces stades et que l'humidité au sol ne serait d'aucune influence sur l'homogénéité des juvéniles et adultes. A la valeur d'indice d'humidité favorable à l'agrégation, des rôniers juvéniles et adultes sont plus abondantes en réserve qu'à la périphérie.

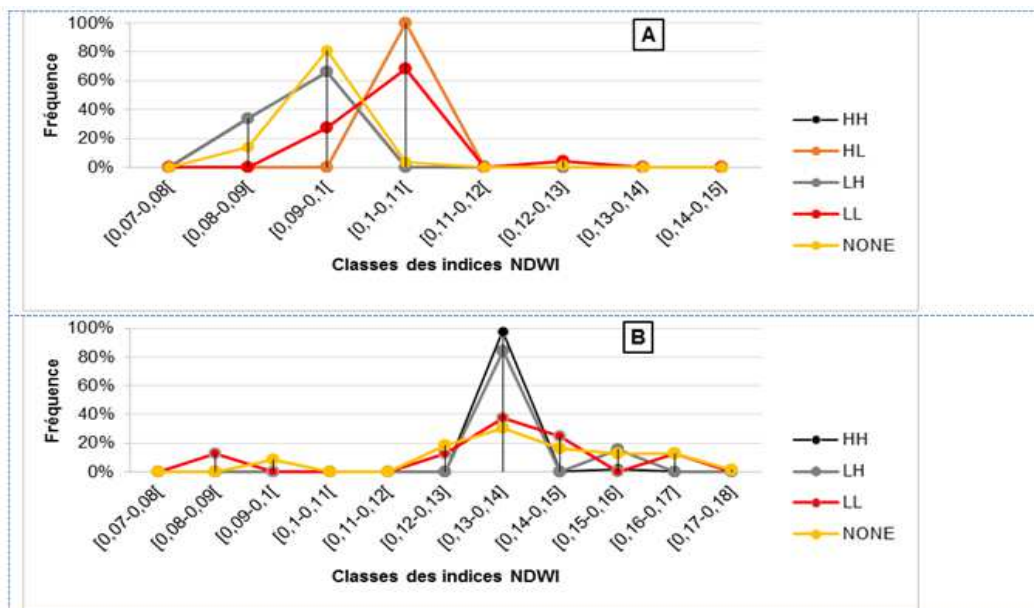


Figure 15: Réponse des plantules (P1) des rôniers par modalités d'agrégation en fonction de l'humidité au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

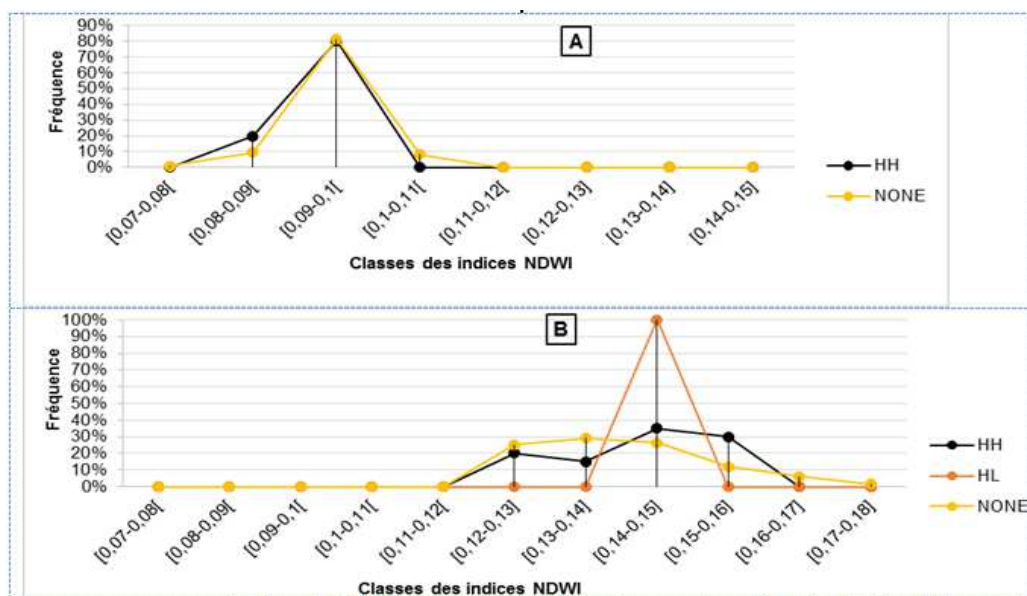


Figure 16: Réponse des plantules (P2) des rôniers par modalités d'agrégation en fonction de l'humidité au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

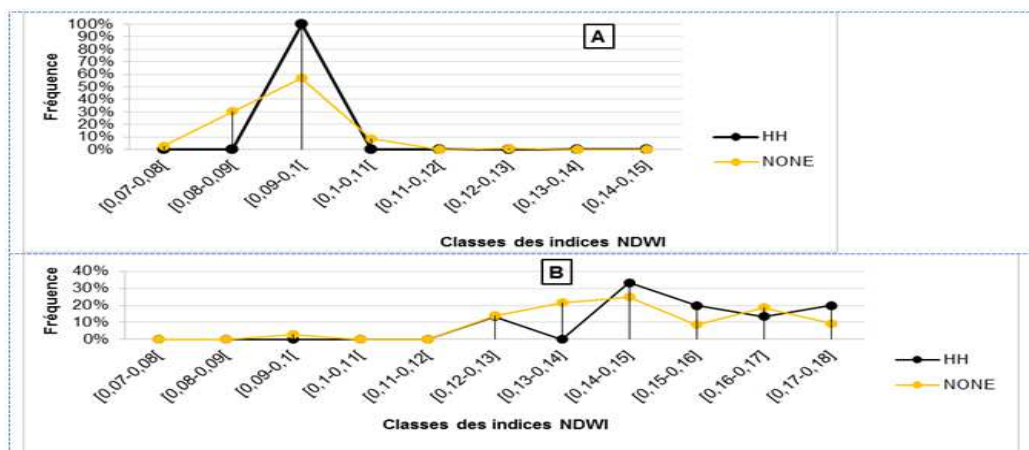


Figure 17: réponse des rôniers jeunes (J) par modalités d'agrégation en fonction de l'humidité au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

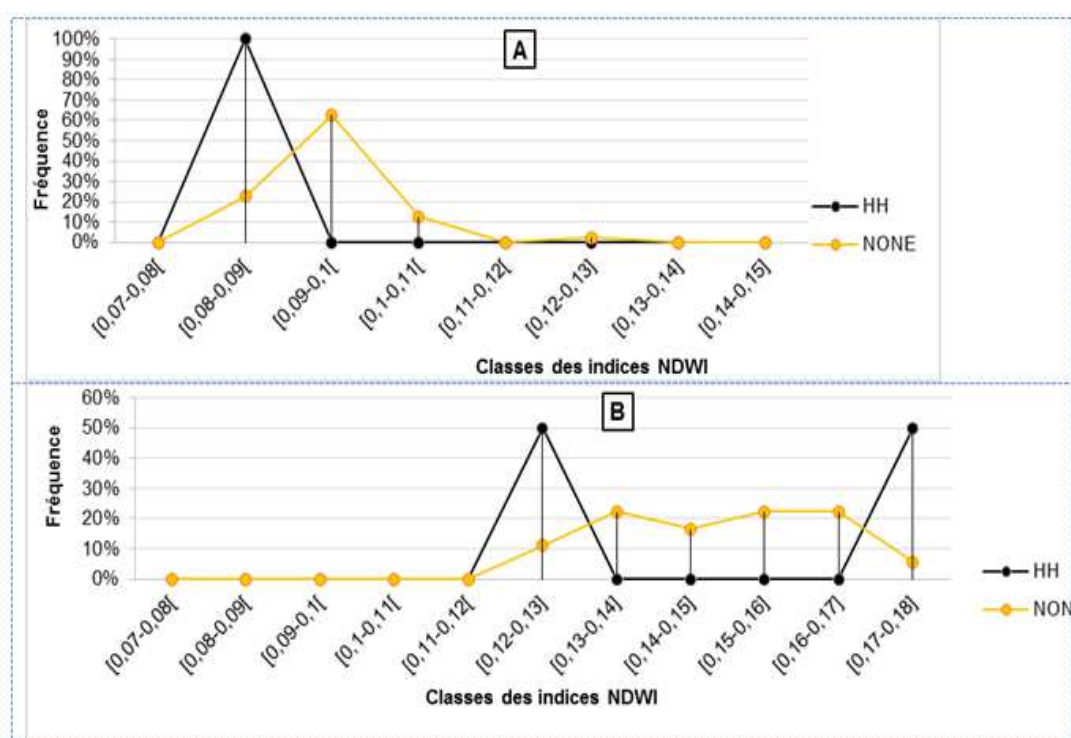


Figure 18 : Réponse des rôniers adultes (A) par modalités d'agrégation en fonction de l'humidité au sol (A. Réserve, B. Hors réserve).

IV. Discussion

La répartition spatiale globale (extrinsèque) des rôniers montre que les plantules sont réparties de façon agrégée avec des caractères hétérogènes. Par contre, les individus juvéniles et adultes se répartissent de façon aléatoire avec des caractères homogènes. Outre la distribution des rôniers juvéniles qui présente une structure aléatoire, nos résultats concordent avec ceux de Barot et al.[17] sur le site de Lamto. Selon ces auteurs, la structure des plantules et des juvéniles est agrégée tandis que celle des adultes est aléatoire, pour un modèle similaire d'analyse (Fonction K de Ripley). La comparaison de l'intensité d'agrégation montre que les modèles d'agrégation peuvent changer par cohorte d'âge chez les rôniers. L'agrégation au sein des cohortes plantules et la répartition aléatoire des adultes pourraient être le produit d'une compétition interspécifique et intraspécifique. Le changement d'agrégation des populations juvéniles (plantules) aux populations adultes a été observé au Paraguay, chez d'autres palmiers de savane dont *Copernicia alba* [11] et au Bénin, chez le palmier doum *Hyphaene thebaica* [41]. Le passage de la structure agrégée des plantules à la structure aléatoire chez les adultes, expliqué par l'effet de compétition, est assez marquée au niveau des plantules pour la ressource (eau - nutriment) [10]. A mesure que diminue la ressource au cours de l'évolution du stade ontogénique, il s'opère un processus d'élimination progressive des individus. Dans la plupart des communautés végétales, l'agrégation à

grande échelle est attribuée à hétérogénéité de l'environnement. Or à petite échelle, elle est liée aux interactions entre plantes [42]. Eiserhardt et al. [14] confirment qu'à une échelle locale, l'agrégation spatiale observée souvent chez les palmiers serait liée à limitation de la dispersion forte. Les rôniers présentent au stade plantule une forte hétérogénéité, avec une répartition agrégée autour des pieds femelles. L'évidence d'une concentration élevée de plantules autour des adultes est due à la barochorie des fruits qui limite la dispersion. Le mode de dissémination serait à la base de l'interaction entre plantules (hétérogénéité de la distribution). La distance de dispersion comme explication universelle d'agrégation à l'échelle fine des rôniers serait la plus plausible.

La réponse des rôniers de la réserve de Lamto, en présence de la température et de l'humidité au sol est en forme de cloche unimodale avec des fréquences de modalités d'agrégation significatives les plus élevées. Elles traduiraient la stabilité des rôniers au sein du milieu écologique (niche), surtout que ce site constitue une aire protégée. En absence de perturbation d'ordre microclimatique en dehors de la réserve, la niche écologique des rôniers quel que soit les stades ontogéniques se situerait autour des valeurs stables de températures de 26,4 à 26,8°C et d'indice d'humidité de 0,09 à 0,10 à l'échelle de Landsat 8. Selon Austin [40], la forme de la réponse d'une espèce face à une variable environnementale serait au centre de toute modélisation prédictive avec une courbe en cloche symétrique unimodale. Cependant, toutes formes contraires telles les courbes multimodales traduiraient des perturbations allant au déplacement de la niche écologique, d'où les valeurs élevées de température et d'indice humidité en dehors de la réserve. Le décalage de pas constaté au niveau des modalités de regroupement traduirait la séparation de l'habitat ou la mise en exergue de l'approche d'exclusion compétitive. Ce qui signifie que l'hétérogénéité du milieu crée des conditions variables, favorables à l'agrégation. Ces mêmes constats ont été faits par Azihou et al. [43] sur les rôniers au Bénin. Il faudrait noter que la périphérie de la réserve est sujette à de nombreuses perturbations dont la transhumance, l'activité intense des feux de brousses et de l'agriculture. Dans le cas des feux et de la transhumance, ils réduisent la densité des arbres de savanes en supprimant les interactions [44]. Même si les facteurs climatiques ont une influence sur la répartition spatiale des palmiers, les types de sol et l'action anthropique seraient les éléments les plus importants dans l'explication de la vulnérabilité de répartition des palmiers, comme c'est le cas du palmier *Hyphaene petersiana*, le palmier doum *Hyphaene thebaica*, et bien d'autres palmiers [15,41,45]. Cette structuration de *B. aethiopum* qui change avec l'habitat, constitue une stratégie d'adaptation potentielle face aux conditions changeantes du milieu [46].

V. Conclusion

L'utilisation des images satellitaires comme espace écologique a été indispensable à l'étude de la recherche de quelques conditions de l'habitat (niche écologique) des rôniers à une échelle plus fine. Il ressort de l'étude de la structure spatiale que les palmiers rôniers (*B. aethiopum*) sont repartis au stade plantule en agrégat, de caractère hétérogène. Celle des adultes présentent une répartition aléatoire avec un caractère homogène. A l'échelle de Landsat 8, les températures et humidités favorables à l'abondance des rôniers sont respectivement de 26,6 à 26,8°C et d'indices 0,09 à 0,10. La distribution des rôniers est influencée par la variation des conditions microclimatiques dont l'humidité et la température au sol. Elles aident à maintenir la communauté de palmier à travers la spécialisation du microhabitat. Si le rônier supporte par sa présence cette variation environnementale, il n'en demeure pas moins l'une des espèces les plus menacée par les effets du microclimat. Le changement climatique avec pour corollaire la baisse de l'humidité et l'augmentation de la température au sol induite par l'activité anthropique croissante constitue une menace pour le peuplement rôniers. En perspectives, cette étude pourrait marquer des changements dans la gestion de l'espèce par les populations riveraines.

Remerciements

Nous tenons à remercier la United State Geological Survey (USGS), pour la mise à disposition des images satellitaires utilisées dans cette étude. Merci au Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS) de Côte d'Ivoire à travers le financement du projet N°164 du Programme d'Appui Stratégique à la Recherche Scientifique (PASRES).

References

- [1]. R.P. Bayton A revision of *Borassus L.* (Arecaceae), *Kew Bulletin* 62 (2007) 561-585.
- [2]. J.C. Menaut and J. César Structure and primary productivity of Lamto savannas, Ivory Coast, *Ecology* 60 (1979) 1197-1210.
- [3]. M. Lamotte The Structure and Function of a Tropical Savannah Ecosystem. In: *Tropical ecological systems. Trends in Terrestrial and Aquatic Research.* Golley F.B & Medina E. eds) *Ecological Studies* 11; Springer: 179-222, (1975).
- [4]. A. Ibrahima and C. Abib Fanta Estimation du stock de carbone dans les faciès arborés et arbustifs des savanes soudanaises de Ngaoundéré, Cameroun, *Cameroun Journal of Experimental Biology* 4 (2008) 1-11.
- [5]. F.W. Stauffer A la découverte des palmiers d'Afrique de l'Ouest. La feuille verte, *Journal Des Conservatoire Et Jardin Botaniques*, N° 45 - Décembre 2014 (2014).

- [6]. B.D. Zira, E.I. Arifalo, A.A. Ghide and T. Zirah Utilization and commercialization of two MPTS (*Adansonia digitata* and *Borassus aethiopicum*) in sahelian environment of Borno State, Nigeria, *International Journal of Management and Social Sciences Research (IJMSSR)* 2 (2013) 78-84.
- [7]. M. Sanon and M. Sacande *Borassus aethiopicum* Mart. Seed Leaflet, 120 (2007).
- [8]. A. Cosiaux, L.M. Gardiner and T. Couvreur *Borassus aethiopicum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T195913A2431857. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T195913A2431857.en>. Downloaded on 07 April 2018., (2016).
- [9]. UICN-Burkina Faso Certification des PFNL au Burkina Faso : Manuel simplifié à l'usage des Organisations Communautaires de Base (OCB), (2015) Ouagadougou, Burkina Faso : UICN. 32 p.
- [10]. S. Barot and J. Gignoux Neighborhood analysis in the savanna palm *Borassus aethiopicum*: Interplay of intraspecific competition and soil patchiness, *Journal of Vegetation Science* 14 (2003) 79-88.
- [11]. M.E. Cisz, M.J. Falkowski and B. Orr Small-Scale Spatial Patterns of *Copernicia alba* Morong near Bahia Negra, Paraguay, *Natural Resources* 4 (2013) 369-377.
- [12]. S. Bjorholm, J.-C. Svenning, F. Skov and H. Balslev Environmental and spatial controls of palm (Arecaceae) species richness across the Americas, *Global Ecology and Biogeography* 14 (2005) 423-429.
- [13]. A.H. Hirzel, J. Hausser, D. Chessel and N. Perrin Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data ?, *Ecology* 83 (2002) 2027-2036.
- [14]. W.L. Eiserhardt, J.-C. Svenning, W. Daniel Kissling and H. Balslev Geographical ecology of the palms (Arecaceae): determinants of diversity and distributions across spatial scales., *Annals of Botany* (2011) 1-26.
- [15]. A. Blach-Overgaard, H. Balslev, J. Dransfield, S. Normand and J.-C. Svenning Global-change vulnerability of a key plant resource, the African palms, *Scientific Reports* 5 (2015) 12611 DOI: 12610.11038/srep12611.
- [16]. S. Barot and J. Gignoux Populations structure and life cycle of *Borassus aethiopicum* Mart.: Evidence of early senescence in a palm tree, *BIOTROPICA* 31 (1999) 439 - 448.
- [17]. S. Barot, J. Gignoux and J.-C. Menaut Demography of a savanna palm tree: predictions from comprehensive spatial pattern analyses, *Ecology* 80 (1999a) 1987-2005.
- [18]. S. Barot, J. Gignoux and J.-C. Menaut Seeds shadows, survival and recruitment: how simple mechanisms lead to dynamics of population recruitment curves, *Oikos* 86 (1999b) 320 - 330.
- [19]. Y.F.B. Yassi Mise en place d'un Système d'Information Géographique (SIG) pour la gestion de la biodiversité : cas de la réserve scientifique de Lamto. Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA), Option Eaux et Forêts, Institut Polytechnique Felix Houphouët Boigny de Yamoussoukro. 51p, (2014).
- [20]. J. Delmas Recherches écologiques dans la savane de Lamto: premier aperçu sur les sols et leur valeur agronomique, *La terre et la Vie* 3 (1967) 216-227.
- [21]. J.L. Guillaumet and E. Adjanohoun La végétation de la Côte d'Ivoire. In : Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Avenard J-M, Eldin M, Girard G, Sircoulon J, Touchebeuf P, Guillaumet J-L, Adjanohoun E et Perraud (Eds), Mémoires ORSTOM, Paris, France, 50 (1971) 161-263.
- [22]. N.H. Fonton Structure spatiale des arbres des savanes boisées et forêts claires soudanaises: implication pour les enrichissements forestiers, 16 (2012).
- [23]. L. Cappelatti and J.L. Schmitt Spatial distribution and population structure of palms (Arecaceae) in a forest fragment of lowland dense humid forest in south Brazil, *Ciência Florestal*, Santa Maria, 25 (2015) 817-825.
- [24]. T.L. Saaty How to make a decision : The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research* 48 (1990) 9-26.
- [25]. A. Mitchell The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics, *ESRI Guide to GIS analysis* (2005).
- [26]. A. Mitchell The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics, *ESRI Guide to GIS analysis* (2005).
- [27]. B.D. Ripley Modelling spatial patterns. , *Journal of the Royal Statistical Society, series B (methodological)* 39 (1977) 172-212.
- [28]. M.M. Fischer and A. Getis *Hookbook of applied spatial analysis: software tools, Methods and applications*; DOI 10.1007/978-3-642-03647-7_2, Hardcover, 2010.
- [29]. F. Goreaud and R. Pélissier On explicit formulas of edge effect correction for Ripley's K-function, *Journal of Vegetation Science* 10 (1999) 433-438.
- [30]. J. Besag Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper, *R Stat Soc B* 39 (1977) 193-195.
- [31]. B.-C. Gao NDWI- A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sens. Environ.* 58 (1996) 257 - 266.
- [32]. D. Skokovic, J.A. Sobrino, J.C. Jimenez-Munoz, G. Soria, Y. Julien, C. Mattar and Jordi Cristobal "Calibration and Validation of Land Surface Temperature for Landsat 8 – TIRS Sensor", *Land product Validation and Evolution, ESA/ESRIN Frascati (Italy)*, pp 6-9, January 28-30, 2014, (2014).
- [33]. R.J. Kauth and G.S. Thomas The Tasseled Cap-a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 4B41-4B51 (1976).
- [34]. H. Xu Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *Int. J. Remote Sens.* 27 (2006) 3025-3033.
- [35]. B.L. Markham and J.K. Barker Spectral characteristics of the LANDSAT Thematic Mapper sensors, *International Journal of Remote Sensing* 6 (1985) 697 – 716.
- [36]. S. Latif Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm- A case study of Ranchi District, *International Journal of Engineering Development and Research* 2 (2014) 3840 - 3849.
- [37]. A. Rajeshwari and N.D. Mani Estimation of Land Surface Temperature of Dindigul District using Landsat 8 data, *International Journal of Research in Engineering and Technology* 3 (2014) 122-126.
- [38]. M. Caldas de Castro and B.H. Singer Controlling the False Discovery Rate: A New Application to Account for Multiple and Dependent Test in Local Statistics of Spatial Association." *Geographical Analysis, Geographical Analysis* 38 (2006) 180-208.
- [39]. P. Sampoux and V. Badeau Modélisation de la niche écologique des fétuques à feuilles fines: quels apports pour la conservation et la valorisation des ressources génétiques?, *Innovations Agronomiques* 7 (2009) 79-91
- [40]. M.P. Austin Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches, *Ecological Modelling* (2007) 1-19.
- [41]. R. Idohou, F. Azihou, A. Adomou, A.E. Assogbadjo and R.G. Kakaï Influence of the landscape context on stand structure and spatial patterns of the doum palm (*Hyphaene thebaica* Mart.) in the Republic of Benin (West Africa), *Agroforest Syst* (2016) DOI 10.1007/s10457-10016-19920-10454.

- [42]. T. Wiegand, C.V.S. Gunatilleke and I.A.U.N. Gunatilleke Species associations in a heterogeneous Sri Lankan dipterocarp forest, *American Naturalist* 170 (2007) 77 - 95.
- [43]. A.F. Azihou, R. Glèlè Kakaï, R. Bellefontaine and B. Sinsin Distribution of tree species along a gallery forest-savanna gradient: patterns, overlaps and ecological thresholds, *Journal of Tropical Ecology* 29 (2013) 25-37.
- [44]. A. Carla Staver, W.J. Bond, W.D. Stock, S.J. Van Rensburg and M.S. Waldram Browsing and Fire Interact to Suppress Tree Density in an African Savanna, *Ecological Applications* 19 (2009) 1909-1919.
- [45]. A. Blach-Overgaard, J.-C. Svenning and H. Balslev Climate change sensitivity of the African ivory nut palm, *Hyphaene petersiana* Klotzsch ex Mart. (Arecaceae) - a keystone species in SE Africa, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 8 (2009) doi:10.1088/1755-1315/1088/1081/012014.
- [46]. V.K. Salako, A.E. Assogbadjo, A.C. Adomou, C. Agbangla and R.L. Glèlè Kakaï Latitudinal distribution, co-occurring tree species and structural diversity of the threatened palm *Borassus aethiopum* (Arecaceae) in Benin, West Africa, *Plant Ecology and Evolution* 148 (2015) 335-349.

Douffi Kouakou Guy-Casimir "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), vol. 07, no. 06, 2018, pp 40-56