

Caractérisation de la Dégradation à Travers la Diversité Floristique et la Structure de la Végétation dans le Bassin Moyen de la Sota au Nord-Bénin

[Characterization of Degradation Across Floristic Diversity and Vegetation Structure in the Sota middle watershed of North Benin]

ISSIFOU MOUMOUNI Yaya¹, TOKO IMOROU Ismaïla¹ and MOUSSA Abdel Djailou¹

¹Laboratoire de Cartographie / Université d'Abomey-Calavi
LaCarto/UAC

Résumé - Le bassin moyen de la Sota est un milieu de coton-culture où les formations végétales naturelles sont sous fortes pressions anthropiques. La dégradation du couvert végétal a été caractérisée à travers la diversité floristique et la structure des formations végétales dans ledit bassin. Pour y parvenir, une démarche méthodologique essentiellement basée sur l'approche phytosociologique fondée sur les relevés in situ. L'analyse de la flore montre que l'ensemble du secteur d'étude est constitué de 347 espèces réparties en 179 genres et 72 familles. Le quotient spécifique globalement élevé est de 1,93, cela témoigne de la pauvreté du milieu en espèce. La diversité alpha est globalement faible, alors que la diversité bêta indique une dissimilarité globalement supérieur à 50 %. La richesse spécifique moyenne est faible avec $13,85 \pm 5,254$ espèces/placeau. Le milieu est faiblement diversifié avec un indice de diversité de Shannon qui varie de $1,44 \pm 0,64$ bits. L'indice d'équitabilité de Pielou moyen est de $0,72 \pm 0,25$ et traduit une répartition moyennement équitable des individus de chaque espèce dans les différentes formations. L'indice de Simpson est en moyenne de $0,6 \pm 0,21$. En plus le nombre de hill est en moyenne de $0,41 \pm 0,33$. La densité moyenne est de 151 ± 132 individus/ha et la surface terrière moyenne de $6,32 \pm 6$ m²/ha à l'échelle du bassin. Ceci témoigne des pressions anthropiques que subissent les différentes formations dans le bassin moyen de la Sota. A l'échelle du bassin la valeur moyenne de circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne est de 31 ± 20 m. Quant à la hauteur moyenne de l'arbre elle oscille entre 11 ± 3 m à l'échelle du bassin. Ce qui explique largement la prépondérance des arbres de petites circonférences dans le secteur d'étude. On note que toutes les cinq formations végétales identifiées présentent globalement une distribution en "J renversée", caractéristique des peuplements multispécifiques avec des valeurs du paramètre de forme c de la distribution de Weibull toutes proche de 1 indiquant la prépondérance des individus jeunes et de petites circonférences [30 cm ; 50 cm] avec une densité moyenne de 80 tiges/ha. Ce qui veut dire que le milieu connaît une dégradation perpétuelle qui ne permet pas à la flore de se reconstituer pour revenir à son état initial appelé état stable. Une telle évolution conduit à court et à moyen terme à une réduction de la production de biens et de services et à long terme au point de basculement.

Mots clés—Dégradation, diversité floristique, multispécifiques, richesse spécifique, bassin moyen de la Sota.

Abstract -The middle watershed of the Sota is a cotton-crop environment where natural plant formations are under strong anthropic pressure. The degradation of the vegetation cover has been characterized through the floristic diversity and structure of plant formations in the said basin. To achieve this, a methodological approach based essentially on the phytosociological approach based on in situ surveys. The analysis of the flora shows that the entire study area consists of 347 species divided into 179 genera and 72 families. The overall high specific quotient is 1.93, which reflects the poverty of the environment in terms of species. Alpha diversity is generally low, while beta diversity indicates an overall dissimilarity of more than 50%. The average specific richness is low with 13.85 ± 5.254 species/place. The environment is poorly diversified with a Shannon diversity index that varies from 1.44 ± 0.64 bits. The average Pielou equitability index is 0.72 ± 0.25 and reflects a moderately equitable distribution of individuals of each species in the different formations. The Simpson index is on average 0.6 ± 0.21 . In addition, the number of hill is on average 0.41 ± 0.33 . The average density is 151 ± 132 individuals/ha and the average basal area is 6.32 ± 6 m²/ha at the basin scale. This reflects the anthropogenic pressures on the different formations in the Middle Sota Basin. At the basin scale, the average circumference value of the average basal area tree is 31 ± 20 m. The average height of the tree varies between 11 ± 3 m at the basin scale. This largely explains the preponderance of trees with small circumferences in the study area. It should be noted that all five identified plant formations have an overall "inverted J" distribution, characteristic of multispecies stands with values of the Weibull distribution shape parameter c very close to 1 indicating the preponderance of young individuals and small circumferences [30 cm; 50 cm] with an average density of 80 stems/ha. This means that the environment is constantly degraded, which does not allow the flora to recover and return to its initial state called the stable state. Such a development leads in the short and medium term to a reduction in the production of goods and services and in the long term to the tipping point.

Keywords - Degradation, plant diversity, multi-species, specific richness, Sota middle watershed.

I. INTRODUCTION

La dégradation à un rythme inquiétant des écosystèmes forestiers sous les tropiques a pour conséquence directe la fragmentation des formations végétales.

L'homme, qui n'a pas su trouver un équilibre entre son système d'exploitation et la résilience du milieu naturel, demeure l'agent principal de l'évolution régressive des écosystèmes [1]. Par ses cultures, ses exploitations forestières, l'extension de l'élevage et de la chasse, il conquiert une partie toujours plus importante de l'espace. Ainsi, près de 11,3 millions d'hectares de forêt tropicale sont défrichés chaque année [2]. On admettait en 1980 que 200 millions d'habitants des pays tropicaux vivent de l'agriculture itinérante sur brûlis, ce qui entraîne la destruction de plusieurs centaines de milliers d'hectares de formations naturelles [3]. Cette pression est d'autant plus importante que certaines espèces sont actuellement en voie de disparition de par le monde.

Le Bénin occupe la majeure partie du "Dahomey Gap" qui est une interruption de la forêt dense sur la côte de l'Afrique de l'Ouest où le climat est particulièrement sec. La végétation se présente sous forme de mosaïque de forêts, de savanes et de champs [4]. On observe par endroits la persistance d'une mosaïque constituée de zones dénudées qui témoignent suffisamment de l'état de dégradation des sols. Le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4) de 2013 a permis de dénombrer 10 008 749

habitants résidents contre 6 769 914 habitants en 2002, avec un taux annuel d'accroissement inter censitaire de 3,5 % [5], la FAO estime cette population à 11 485 680 habitants en 2018 avec 6 051 550 de populations rurales et 5 434 130 de populations urbaines [6]. Cette forte croissance démographique représente alors au Bénin un facteur de pression sur la végétation naturelle à travers différentes formes d'occupation des terres à des fins agricoles, pastorales et d'urbanisation [7]. La destruction des ressources naturelles a évolué à un rythme assez inquiétant. Déjà en 1991, les estimations faisaient état d'une destruction annuelle moyenne de 100 000 hectares de végétation naturelle au Bénin à des fins culturelles. Les forêts sont en train de subir des processus de déforestation ou de dégradation plus ou moins sévères entraînant des impacts négatifs sur les écosystèmes et les modes de vie des populations locales en particulier. Les différentes formes d'occupation des terres à des fins d'urbanisation, agricole, et pastorale se font aux dépens des habitats naturels qui sont de véritables réservoirs de la diversité biologique [8]. Sur tout le territoire national, la dégradation des ressources naturelles est alarmante. La plus forte tension sur les ressources naturelles se situe sur le rapport entre l'offre soutenable et la demande de combustibles ligneux (bois de feu et charbon de bois). Alors que la demande globale en bois-énergie en 2027 serait de 17 816 587 tonnes /an, le potentiel global du bois-énergie ne serait que de 5 786 462 tonnes. Le rapprochement des variables démographiques et économiques met en évidence un

déséquilibre entre les besoins des populations et les ressources disponibles [9]. Cela entraîne un appauvrissement de la diversité biologique dû à la disparition des formations forestières au profit des savanes aux potentialités réduites [4]. Tandis que la FAO estime un taux de régression de 1 % par an entre 1980 et 1991 pour ces formations, le World Resources Institute avance un taux de 1,4 % soit un taux moyen annuel de 1,2 %. Entre 1990 et 1995, les deux institutions estiment à 1,2 % le taux moyen de régression pour les autres périodes. Selon le directeur général de la FAO, la croissance démographique, l'absence de stratégies de développement économique régionale et nationale ainsi que le manque de législation foncière effective sont à la base de cette déforestation toujours croissante [10]. Néanmoins, la déforestation qui était estimée à 150 000 ha/an entre 1960 et 1980 est passée de 70 000 ha/an entre 1990 et 2000 à 50 000 ha/an à partir de 2000 [2].

Malgré ces efforts louables, la dégradation continue dans le bassin moyen de la Sota où les modes de vie des populations locales sont essentiellement basés sur l'agriculture et l'élevage (principales activités économiques de la population active) et sur le profit et les services qu'elles tirent des forêts. Il en résulte un déboisement continu des terres de saison en saison. L'extension des terres cultivées due au poids démographique et à l'appauvrissement des sols se fait désormais jusqu'à l'intérieur des domaines classés principaux réservoirs de carbone. Cette extension réduit considérablement la capacité des formations végétales naturelles à produire des biens et services écosystémiques.

Cet article analyse la dégradation du couvert végétal à travers la diversité floristique et la structure dendrométrique

des formations végétales du milieu pour une caractérisation plus précise de la dégradation.

II. SECTEUR D'ETUDE

Le Bassin Moyen de la Sota (BMS) est situé au nord-est du Bénin entre 11°10'34" et 11°10'43" de latitude nord et entre 3°6'24" et 3°28'30" de longitude est. Il couvre une superficie de 148 931 ha, avec près de 48 236 ha occupées par les forêts classées de la Sota et des Trois Rivières (soit 32 %). Il est un sous bassin du Bassin versant de la Sota et est limité au nord par le bassin inférieur de la Sota, au nord-est par le bassin de Nogourou, au nord-ouest par le bassin d'Irané, à l'est par le bassin de Quinté, à l'ouest par le bassin de Bouli, au sud par le bassin supérieur de la Sota et au sud-est par le bassin de Tassiné (fig. 1).

Le choix du BMS comme cadre géographique de la présente recherche s'explique d'une part par le fait qu'il abrite les communes productrices du coton (Kandi, Ségbana, Gogounou) d'autre part par la présence des aires protégées de la Sota et des Trois Rivières qui subissent depuis ces dernières années la déforestation, la dégradation des terres révélant de ce fait la vulnérabilité des écosystèmes [11]. Cette zone abrite également le plus important cheptel de ruminants conduit selon le mode d'élevage extensif des éleveurs transhumants. On observe une tendance à la hausse de la température entre 1965 et 2010 dans le bassin versant de la Sota [11]. Le BMS appartient au district phytogéographique du Borgou-nord [12].

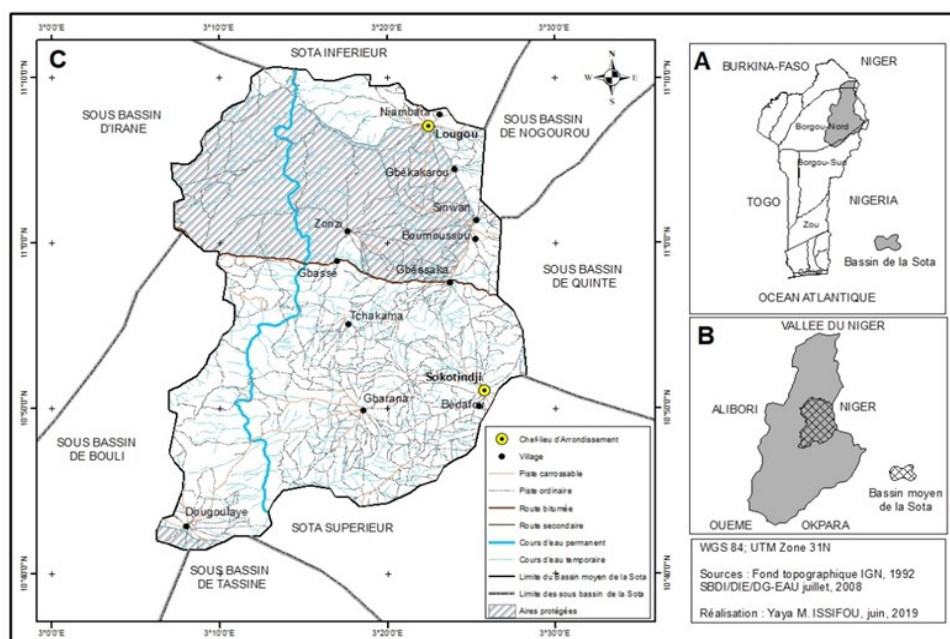


Fig. 1. Localisation géographique du bassin moyen de la Sota

III. DEMARCHE METHODOLOGIQUE

3.1 Matériel de collecte

La collecte des données a nécessité :

- un GPS pour rallier les placettes à partir de leurs coordonnées;
- un décimètre pour la mesure de la circonférence des essences ($C \geq 15$ cm) ;
- un clisimètre pour les mesures de la hauteur des arbres ($h \geq 2$ m) ;
- un appareil photo numérique pour illustrer quelques observations faites sur le terrain ;
- des fiches de relevés pour noter les données *in situ*.

3.2 Collecte des données dendrométriques

L'inventaire forestier a été réalisé dans des placettes circulaires de 18 m de rayon. Tous les arbres dont le

diamètre à hauteur de poitrine (dhp) dépasse 10 cm ont été pris en compte dans chacune des placettes. Les noms scientifiques ou vernaculaires des arbres, la hauteur totale et la circonférence ($C \geq 15$ cm) sont les principales données collectées. A cela s'ajoutent le type de formation végétale, le type de sol et la situation topographique. La circonférence est mesurée avec un décimètre et la hauteur des arbres avec un clisimètre.

Pour la délimitation des placettes, dérouler la corde de 18 m à partir du centre de la placette pour repérer les arbres inclus dans celle-ci. L'ordre de mesure des arbres suit le sens des aiguilles d'une montre et de l'intérieur vers l'extérieur de la placette (fig. 2).

Au niveau des différentes formations végétales, 174 placettes ont été installées (Tableau VI). Le nombre de placettes par formation végétale a été déterminé de façon systématique en respectant le critère de stratification, de l'homogénéité floristique et topographique des strates.

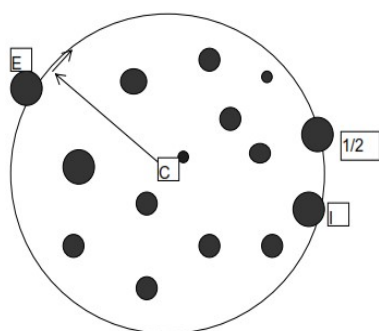


Fig. 2. Ordre de mesure des arbres-échantillons et caractérisation des arbres inclus et exclus

C= Centre de la placette, I = Arbre inclus, E=Arbre exclus, $\frac{1}{2}$ = arbre compté une fois sur 2.

Table 1. Nombre de placette par formation végétale

Formations végétales	Nombre de placette
Forêts galeries et formations ripicoles	8
Forêts denses	3
Forêts claires et savanes boisées	21
Forêts et savanes marécageuses	10
Savanes arborées et arbustives	88
Plantations	6
Champs et Jachères	38
Total	174

Source : Données de terrain, 2018

3.3 Méthode de relevés phytosociologiques

Les relevés phytosociologiques ont été réalisés dans des sous placettes de rayon 4 m à l'intérieur des placettes mères de 18 m de rayon en 2017 et 2018 vers la fin de la saison pluvieuse (septembre-octobre-novembre), période au cours de laquelle les espèces sont en fleurs notamment les herbacées facilitant ainsi leur identification sur le terrain. Sur chaque site, les caractéristiques d'identification du site, les caractéristiques stationnelles (topographie, altitude, texture du sol) et les éléments relevant de perturbations anthropiques ont été notés. La texture du sol a été appréciée par sondage à la tarière. Dans les placettes, les espèces végétales inventoriées sont affectées d'un coefficient d'abondance – dominance. Les coefficients de recouvrement moyen (RM) admis sont ceux proposés par [13] :

- 5 : espèce couvrant 75 à 100% de la surface du relevé (RM : Recouvrement Moyen = 87,5%) ;
- 4 : espèce couvrant 50 à 75% de la surface du relevé (RM = 62,5%) ;
- 3 : espèce couvrant 25 à 50% de la surface du relevé (RM = 37,5%) ;
- 2 : espèce couvrant 5 à 25% de la surface du relevé (RM = 15%) ;
- 1 : espèce couvrant 1 à 5% de la surface du relevé (RM = 3%) ;
- + : espèce couvrant 0 à 1% de la surface du relevé (RM = 0,5%).

La répartition des placettes dans le secteur d'étude est présentée par la fig. 3.

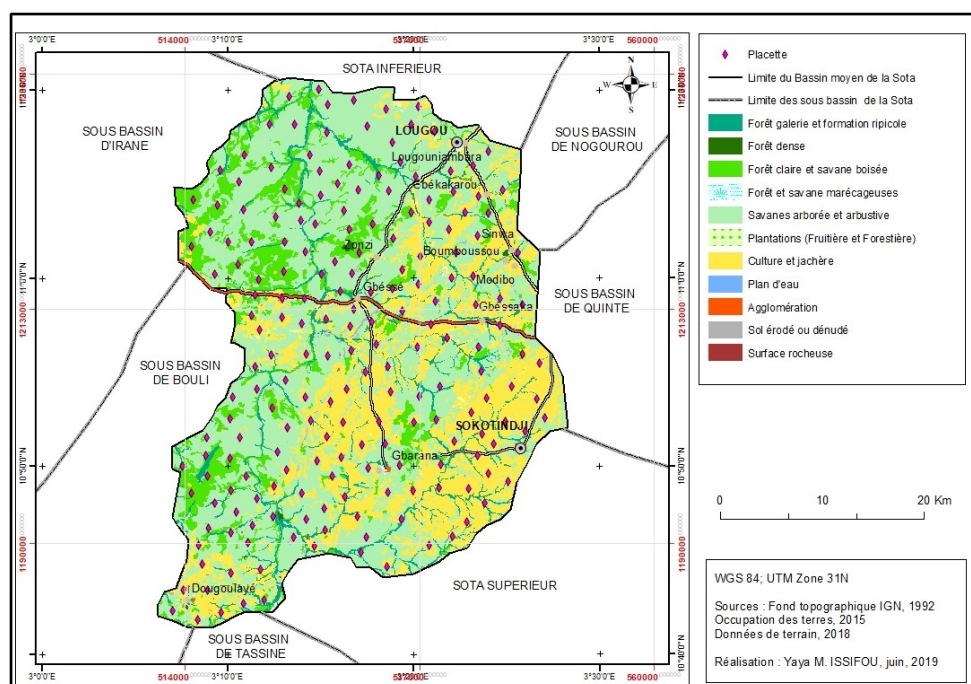


Fig. 3. Répartition des placettes

L'identification des espèces a été faite directement sur le terrain. Pour des espèces qui n'ont pas pu être directement identifiées sur le terrain, des spécimens ont été récoltés et comparés à ceux de l'Herbier National du Bénin et à partir des Flores de [14]; de [15]; de [16] ; et de [4].

3.4 Traitement des données phytosociologiques

Le traitement des données phytosociologiques à consister à classifier les formations végétales, à déterminer la fréquence d'apparition des espèces, l'abondance relative des espèces, la dominance relative des espèces, les spectres des types biologiques et phytogéographiques et la diversité spécifique de chaque formation végétale. Le degré de maturité des formations végétales a été évalué par le calcul du quotient spécifique.

3.4.1 Bilan floristique

- Fréquence relative (FR)

Selon [17], la fréquence d'une espèce est égale au nombre d'apparition de cette espèce sur la surface d'inventaire. La fréquence relative d'une espèce est égale au quotient de la fréquence par la somme de fréquences de toutes les espèces et multipliée par 100.

$$FR = \frac{\text{Nombre d'apparition de l'espèce}}{\sum \text{des fréquences de toutes les espèces}} \times 100 \quad (\text{eq.1})$$

- Importance spécifique (IS)

Elle s'obtient par le rapport entre le nombre d'espèce d'une famille et le nombre total d'espèces recensées multiplié par 100. Elle permet de déterminer les familles les plus prépondérantes dans la flore d'un milieu et s'exprime par :

$$IS = \frac{\text{Nombre d'espèce d'une famille}}{\text{Nombre total d'espèce}} \times 100 \quad (\text{eq.2})$$

- Importance générique (IG)

C'est le rapport entre le nombre de genre d'une famille et le nombre total de genres recensés multiplié par 100. Elle est aussi l'expression du plus grand nombre de genre par famille.

$$IG = \frac{\text{Nombre de genre d'une famille}}{\text{Nombre total de genre}} \times 100 \quad (\text{eq.3})$$

- Abondance relative (AR)

L'abondance d'une espèce (ou famille) correspond au nombre d'individus de la même espèce par unité de surface.

La densité relative (%) est le nombre de pieds d'une espèce (ou famille), ramené au nombre de pieds total et multiplié par 100.

$$AR = \frac{\text{Nombre d'individu de l'espèce}}{\text{Nombre total d'individu total dans l'échantillon}} \times 100 \quad (\text{éq.4})$$

- Dominance relative (DR)

La dominance relative d'une espèce (ou famille) est le rapport de la surface terrière de cette espèce (ou famille) à la surface terrière totale, multipliée par 100.

$$DR = \frac{\text{Surface terrière de l'espèce}}{\text{Surface terrière totale}} \times 100 \quad (\text{éq.5})$$

3.4.2 Diversité spécifique

❖ Diversité alpha

Les diversités alpha et bêta ont été déterminées pour caractériser la diversité spécifique.

Indique le nombre d'espèces qui coexistent dans un habitat uniforme de taille fixe. Soit, elle est la richesse en espèces au sein d'un écosystème local. Elle prend en compte : la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité de Pielou, l'indice de Simpson et l'indice de Hill.

• Richesse spécifique (R)

C'est le nombre d'espèces végétales recensées par plateau. Cet indicateur est insuffisant pour mesurer la diversité spécifique car il ne permet pas de différencier des groupements qui comporteraient un même nombre d'espèces mais avec des effectifs différents.

• Indice de diversité de Shannon (H)

L'indice de diversité de Shannon exprime la diversité des espèces au sein des groupements végétaux. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$H = -\sum P_i \log_2 P_i \quad (\text{éq.6})$$

Avec $P_i = n_i/N$; n_i = nombre d'individus/espèce; N = nombre d'individus/plateau. H varie en général de 0 à 5.

Un indice de diversité de Shannon élevé correspond à des conditions du milieu favorables à l'installation de nombreuses espèces; c'est le signe d'une grande stabilité du milieu [18]. L'indice de diversité de Shannon est faible

lorsque sa valeur est comprise entre 0 et 2 bits; il est moyen si sa valeur est comprise entre 2 et 2,5 bits et élevé lorsque sa valeur est supérieure à 2,5 bits.

• Équitabilité de Pielou (E)

L'équitabilité de Pielou ou régularité est une mesure du degré de diversité atteint par le peuplement et correspond au rapport entre la diversité effective (H) et la diversité maximale théorique ($H_{\max}$) qui est égale au log à base 2 du nombre de taxons [19]. Elle est ainsi déterminée à partir de la formule suivante :

$$E = H/H_{\max} \quad (\text{éq.7})$$

L'équitabilité varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 si la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est presque représentée par le même nombre d'individus ou le même recouvrement. L'équitabilité de Pielou élevée peut être alors le signe d'un peuplement équilibré [18].

• L'indice de Simpson

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce.

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^s P_i^2} \quad (\text{éq.8})$$

Où P_i est la fréquence relative de l'espèce i dans le peuplement.

$$P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^s n_i} = \frac{n_i}{N} \quad (\text{éq.9})$$

Où n_i est le nombre d'individus de l'espèce i et N l'effectif total des individus de toutes les espèces. Plus la diversité spécifique est élevée plus l'indice est fort.

• L'indice de Hill

Hill a montré que les indices de diversité sont mathématiquement liés ; il a donc proposé une formule N_a qui réunit plusieurs expressions classiques de la diversité :

$$N_a = \left(\sum_{i=1}^s P_i^a \right)^{1/(1-a)} \quad (\text{éq.10})$$

Ainsi pour $a=0$ on trouve $N_a = S$ (richesse spécifique) ; pour $a=1$ on trouve $N_a = eH$ dont la valeur maximale est S ; pour $a = 2$ on trouve $N = 1/D$ (indice de Simpson) dont la valeur maximale est 1 quand toutes les espèces ont la même fréquence.

❖ Diversité bêta

L'intérêt de l'étude de la diversité bêta est de compléter l'étude de la diversité alpha (richesse spécifique et indices de diversité) et de rendre compte de la diversité à l'échelle d'une région. La diversité bêta peut être mesurée en utilisant divers coefficients : Jaccard, Sorensen etc. Dans le cadre de cette étude le coefficient de similarité de Sorensen a été utilisé.

• Le coefficient de Sorensen C_s

Il est similaire à celui de Jaccard, cependant il pondère par deux, le terme de co-occurrence ; il s'exprime en pourcentage et à pour formule :

$$C_s = \left(\frac{2S}{a+b-c} \right) \times 100 \quad (\text{éq.11})$$

C_s = coefficient de similitude ; a = nombre d'espèce dans le groupement A ; b = nombre d'espèce dans le groupement B et c = le nombre d'espèces appartenant au groupement A et B que l'on veut comparer. L'indice de similarité de Sorensen varie de 0 à 100. Plus deux groupement ont d'espèces en commun plus C_s tend vers 100 et plus il y a d'espèces différentes au sein des groupements plus C_s tend vers 0 [19].

• Degré de maturité et de stabilité

Le degré de maturité et de stabilité de la flore des unités de végétation a été estimé sur la base des valeurs du quotient spécifique (Q) [20], qui s'obtient par la formule suivante:

$$Q = \frac{S}{G_e} \quad (\text{éq.12})$$

S est le nombre d'espèces identifiées dans une unité de végétation et G_e le nombre de genres.

[20], estime que la richesse générique ou le quotient spécifique sont des indices qui permettent de caractériser les flores. Ces indices mettent en évidence le degré d'isolement et les conditions dans lesquelles un peuplement végétal a évolué. [21], recommande l'utilisation du quotient spécifique qui est très simple et directement démonstrative. Cet indice

permet de comparer deux groupements végétaux ou deux territoires semblables. Une valeur élevée du quotient spécifique indique que le territoire examiné est pauvre en espèces. Par contre une valeur faible de ce quotient suppose une pauvreté en genres et une richesse en espèces. Le quotient spécifique permet d'apprécier l'état de maturité de la flore d'une région donnée.

Le test statistique de Mann-Whitney a été calculé avec XLSTAT 2014.5 pour tester la significativité globale des valeurs de tous les paramètres.

3.5 Traitement des données dendrométriques

La répartition par classe de circonférence, la densité, la surface terrière moyenne, la hauteur de Lorey moyenne et la circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne sont les paramètres utilisés pour caractériser la structure des unités de végétation.

3.5.1 Répartition par classes de circonférence

Les structures en classes de circonférence sont révélatrices des événements liés à la vie des peuplements [22]. Les structures en circonférence sont en général des histogrammes construits à partir des densités observées de classes de circonférence d'amplitude égales. Les amplitudes choisies sont de 20 cm. Les densités observées sont calculées par classes de circonférence. Pour mieux interpréter la structure de la flore, la distribution de Weibull à trois paramètres (a , b et c) a été préférée, car elle se caractérise par une grande souplesse d'emploi et présente une grande variabilité de forme suivant les valeurs prises par ses paramètres et prend ainsi en compte plusieurs distributions théoriques. La distribution de Weibull peut prendre plusieurs formes selon la valeur du paramètre de forme c . L'estimation des paramètres a (origine ou position), b (échelle ou taille) et c (forme) se fait à partir des données de circonférence des arbres grâce à un algorithme basé sur la méthode du maximum de vraisemblance disponible dans le logiciel Minitab 14 [23]. Les fréquences théoriques (f_c) des différentes classes et les densités théoriques et observées en arbre, des classes de circonférences sont ainsi calculées.

✓ Hauteur moyenne de Lorey (H_L)

La hauteur moyenne de Lorey est la hauteur moyenne des arbres, pondérée par leur surface terrière (Philip, 2002) :

$$H_L = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad \text{avec} \quad g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (\text{éq.13})$$

g_i et h_i étant respectivement la surface terrière et la hauteur totale de l'arbre i .

✓ Surface terrière (G)

Elle permet de connaître le volume de bois exploitable au niveau d'un placeau. Elle s'obtient par :

$$G = \sum \frac{\pi D^2}{4} \text{ ou } G = \sum \frac{C^2}{4\pi} \quad (\text{eq.14})$$

et s'exprime en m^2/ha

C = circonférence en m^2 ; S = surface d'un placeau en ha

La surface terrière dépend uniquement de la grosseur (circonférence) des individus présents au sein d'une placette. Pour cela seulement les arbres ayant une circonférence $C \geq 30 \text{ cm}$ à 1,30 m au-dessus du sol ont été pris en compte.

✓ Circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne

Il est obtenu par la relation:

$$D_g = \sqrt{\sum ci^2 / N} \quad (\text{eq.15})$$

Avec n , le nombre d'arbres du placeau et ci , la circonférence (cm) de l'arbre

✓ Densité (D)

Elle est le nombre de tiges par hectare. Elle sera uniquement calculée pour les arbres, arbustes et lianes ayant un DBH (Diameter at the Breast Height) $\geq 10 \text{ cm}$ ou une circonférence $C \geq 30 \text{ cm}$.

$$D = N \times \frac{10000}{S} \quad (\text{eq.16})$$

Avec N : nombre de tiges et S : superficie en ha

Le tableur Excel a été utilisé pour le calcul de toutes les mesures dendrométriques.

IV. RESULTATS

4.1 Caractérisation écologiques des formations végétales

Le bilan floristique et la diversité spécifiques ont permis de faire la caractérisation écologique des formations végétales. Les principales formations végétales rencontrées et discriminées dans le bassin sont : les forêts galeries et formations ripicoles, les forêts claires et savanes boisées, les forêts et savanes marécageuses, les savanes arborées et arbustives et les cultures et jachères.

4.1.1 Bilan floristique

Les forêts galeries et formations ripicoles étudiées dans le bassin moyen de la Sota sont établies sur des bas de versant, les sols sont de texture argileuse, voire argilo-sableuse. Le cortège floristique est de 42 espèces réparties en 25 genres et 12 familles pour un total de 8 relevés. Les familles les plus fréquentes sont par importance les Ebenaceae (11 %) et les Combretaceae (9 %). Par contre, les genres *Diospyros* (5 %) et *Terminalia* (4 %) sont les plus représentatifs. Les espèces végétales les plus fréquentes dans ces formations sont : *Terminalia macroptera*, et *Diospiros mespiliformis* avec une fréquence relative de 4,41% chacune. Les espèces les plus abondantes sont les *Terminalia avicennioides* (11,73 %) et les *Annona senegalensis* (10, 20 %). Parlant de la dominance relative, *Daniellia oliveri* (13,37 %) et *Anogeissus leiocarpa* (8,52 %) sont les plus dominantes. La valeur du quotient spécifique est ($Q = 1,68$) témoigne de la maturité de la flore des forêts galeries et formations ripicoles du milieu d'étude en dépit des perturbations liées à l'extension agricole. Elle montre aussi que ces forêts galeries et formations ripicoles sont relativement riches en espèces.

Les forêts claires et savanes boisées sont des unités de végétations des milieux de versant voire des sommets. Dans le bassin moyen de la Sota se sont pour la plus part des unités de végétations saxicoles établies sur des sols gravelo-sableux ou graveleux. Riches de 73 espèces réparties en 39 genres et 15 familles pour 21 relevés, les forêts claires et savanes boisées sont largement dominées par les espèces de la famille des Leguminosae-Papilionoideae (10 %) et des Combretaceae (7 %). Alors que les *Combretum* (11 %), *Croosopterix* (9 %) et *Isobertia* (7 %) impriment leur physionomie dans le bassin. Les *Combretum glutinosum* (4,14 %), *Croosopterix februfuga* (3,5 %), *Isobertia doka* (3,5 %), sont les espèces les plus fréquentes dans ces unités. L'abondance relative des *Terminalia avicennioides* (10 %), *Combretum glutinosum* (6 %) et *Monotes kerstingii* (4 %) est sans équivoque, alors la dominance relative des *Burkea africana* (12 %) et *Isobertia doka* (9 %) est mise en évidence. La richesse générique ou le quotient spécifique calculé (1,87) indique que les forêts claires et savanes boisées sont pauvres en espèces et riches en genre. Cela témoigne du degré de fragmentation donc de dégradation de ces unités de végétations dans le milieu. Cette dégradation pourrait s'expliquer par les coupes clandestines des essences de valeurs et l'extension agricole anarchique dans les aires protégées du milieu.

Les forêts et savanes marécageuses sont des unités de bas de versant limoneux et des bas-fonds argileux. Elles

hébergent plus de 35 espèces différentes réparties en 11 genres et 8 familles dans 10 relevés. Les Rubiaceae (9 %) et les Combretaceae (5 %) sont les familles les plus représentatives. L'importance générique indique la prépondérance des Terminalia (9 %) et Mitragina (4 %). Les espèces les plus apparues dans les différents relevés sont : les *Terminalia avicennioides* (7 %) et *Mitragina inermis* (3 %). Les espèces les plus abondantes sont : *Terminalia avicennioides* avec une abondance relative de 12,73 % et *Combretum collinum* avec 9 %. Les espèces dominantes sont : *Mangifera indica* (35 %) et *Prosopis africana* (10 %). 3,18 est la valeur calculée du quotient spécifique. Cette valeur indique une certaine pauvreté en espèces des forêts et savanes marécageuses. Cette pauvreté en espèce pourrait être la résultante du poids démographique sur les terres et du faite de la riziculture.

Les savanes arborées et arbustives du bassin moyen de la Sota sont établies sur des bas de versant et des sommets, avec des sols de textures sablo-graveleuse et sablo-argileuse. Le cortège floristique est de 102 espèces réparties 59 genres et 23 familles pour un total de 88 relevés. Les familles les plus représentées sont, les Leguminosae-Papilionoideae (15 espèces, soit 18 %) et les Leguminosae-Caesalpiniaceae (8 espèces, soit 9 %). Quant aux genres on a Combretum (12 %), Detarium (9 %) et Vitellaria (9 %). Les espèces les plus rencontrées sont : *Combretum glutinosum* (5 %), *Detarium microcarpum* (4 %) et *Vitellaria paradoxa* (4 %). Les espèces les plus abondantes sont : *Detarium microcarpum* (11 %) et *Terminalia avicennioides* (9 %). Parlant de la dominance relative, *Vitellaria paradoxa* (11 %) et *Detarium microcarpum* (8 %) sont les plus dominantes. La valeur du quotient spécifique est ($Q = 1,92$) et témoigne de la richesse en espèces de ces formations végétales, mais aussi de la faible proportion des genres.

Les cultures et jachères du BMS sont établies sur des bas de versants et les bas-fonds des sols de textures sablo-graveleuse, sablo-limoneuse et argilo-sableuse. Le cortège floristique est de 95 espèces réparties en 45 genres et 26 familles pour un total de 37 relevés. Les familles les plus représentatives sont celles ayant plus de 5 espèces. Dans les cultures et jachères étudiées elles se présentent par ordre d'importance comme suit : les Combretaceae (9 espèces, soit 11,84 %) ; les Leguminosae-Papilionoideae (8 espèces, soit 10,53 %) ; les Leguminosae-Caesalpinoideae (6 espèces, soit 7,89 %) et les Rubiaceae (5 espèces, soit 6,58). L'importance générique donne les genres Vitellaria (11 %), Hyptis (8 %) et les Piliostigma (7,69 %) sont les représentatifs. Les espèces végétales les plus fréquentes dans

ces formations sont : *Vitellaria paradoxa* (5 %), *Hyptis suaveolens* (4 %) et *Piliostigma thonningii* (3 %). Les espèces *Vitellaria paradoxa*, *Combretum collinum*, *Parkia biglobosa* sont les plus abondantes du secteur d'étude avec des taux d'abondance respectifs de 13,05 %, 6,40 %, 5,76 %. *Vitellaria paradoxa* constitue de loin l'espèce la plus dominante avec 40 %, suivi de *Parkia biglobosa* (9 %), *Azelia africana* (5 %) et *Ficus platyphylla* (5 %). La valeur du quotient spécifique ($Q = 2,17$) témoigne de la diversifiées du point de vue générique de ces formations.

4.1.2 Diversités biologique (forme de vie) et chorologique (phytogéographique)

Les diversités biologique et chorologique ont été évaluées à travers les spectres bruts et pondérés des types biologiques et phytogéographiques des espèces inventoriées sur le terrain.

❖ Spectres des types biologiques et phytogéographiques

Les spectres des types biologiques (formes de vie) et des types phytogéographiques des ligneux du secteur d'étude sont présentées par la fig.4.

L'observation de la fig.4 révèle que les phanérophytes sont les formes de vie les plus abondantes et les plus dominantes dans le secteur d'étude. Ils sont suivis des thérophytes. On note également la rareté des chaméphytes et des géophytes. Les types phytogéographiques indiquent une abondance et une dominance des espèces soudaniennes suivies des espèces soudano-guinéennes et des espèces soudano-zambéziennes. Les autres, types phytogéographiques sont faiblement représentés dans l'ensemble du secteur d'étude. La rareté des chaméphytes témoigne de la forte pression pastorale sur le milieu.

Cette tendance générale laisse des disparités à l'intérieure des différentes formations végétales dans le secteur d'étude. Ces disparités sont beaucoup plus marquées au niveau des cultures et jachères où on note un quasi co-dominance entre les phanérophytes (37 % ; 41 %) et les thérophytes (28 % ; 32 %), avec une proportion importante des hémicryptophytes (24 % ; 18 %). La faible proportion des phanérophytes dans les cultures et jachères met en évidence les impacts des coupes systématiques des arbres suivie de brûlis lors des défrichements cultureux, puis que seules les espèces à valeur socioéconomique reconnue sont épargnées lors des travaux. De plus, les thérophytes étant des plantes annuelles sans organes végétatifs persistants, le labour répétitif des sols finir

par avoir raison de celles-ci ce qui justifie leur faible proportion dans les cultures et jachères comparativement aux autres formations végétales.

Egalement, des disparités sont remarquables au niveau des forêts et savanes marécageuses qui sont des unités particulièrement propices aux espèces hygrophiles et hydrophiles parce que gorgées d'eau. On note à ce niveau une codominance entre les hémicryptophytes (28 % ; 31 %), les thérophytes (31 % ; 27 %) et des phanérophytes (26 % ; 27 %). Ces statistiques témoignent du degré de perturbation des milieux humides. Ces milieux sont particulièrement vulnérables aux changements d'affectation des terres. C'est aussi de véritable puits de carbone s'ils sont bien conservés et mieux gérés, mais deviennent des sources importantes d'émissions s'ils sont dégradés.

L'abondance et la dominance des espèces de l'élément base soudanien montre que le bassin garde encore sa spécificité même il a amorcé une phase de dégradation inquiétante surtout des formations particulières comme les forêts et savanes marécageuses et des forêts galeries et formations ripicoles.

4.2 Diversité floristique

L'ensemble du secteur d'étude est constitué de 347 espèces réparties en 179 genres et 72 familles.

Le quotient spécifique global est faible et est de 1,93. Une valeur élevée de ce quotient suppose une pauvreté en espèce et une richesse en genres du milieu. De plus, ce quotient montre que la flore du bassin est dominée par les espèces en régénération naturelle. Ce qui veut dire que le milieu connaît une dégradation qui ne permet pas à la flore de se reconstituer pour revenir à son état initial appelé état stable. Une telle évolution conduit à court et à moyen terme à une réduction de la production de biens et de services et à long terme au point de basculement. Le point auquel un écosystème perd sa capacité de récupération, ou auquel sa résilience et son intégrité sont perdues, est désigné comme point de basculement, ou seuil écologique.

La table 2 présente les valeurs de la diversité alpha au sein des différentes formations végétales.

Table 2. Diversité alpha par formation

Unité	Statistique	Diversité alpha				
		R	H'	E	1-D	1-Hill
FGFR	Moyenne	11,33	1,01	0,51	0,43	0,88
	Ecartype	2,94	0,58	0,38	0,17	0,44

	CV (%)	3,85	0,57	0,75	0,39	0,5
FCSB	Moyenne	18,78	0,91	0,52	0,4	0,71
	Ecartype	7,84	0,5	0,33	0,16	0,38
	CV (%)	2,40	0,55	0,62	0,4	0,53
SASa	Moyenne	15,60	2,15	0,86	0,73	0,23
	Ecartype	5,64	0,61	0,11	0,26	0,36
	CV (%)	2,76	0,29	0,13	0,36	1,56
FSM	Moyenne	13,80	1,81	0,92	0,81	0,15
	Ecartype	4,49	0,7	0,14	0,21	0,19
	CV (%)	3,07	0,39	0,15	0,26	1,18
CJ	Moyenne	9,74	1,3	0,8	0,61	0,1
	Ecartype	5,36	0,81	0,31	0,27	0,3
	CV (%)	1,82	0,63	0,39	0,44	3,06

R = Richesse spécifique ; H' = Indice d'équitabilité de Shannon ; E = Indice d'équitabilité de Pielou ; 1-D = Indice de Simpson ; 1-Hill = Indice de Hill ; CV = Covariance ; FGFR = Forêts galeries ; FCSB = Forêts claires et savanes Boisées ; SASa = Savanes arborée et arbustive ; FSM = Forêts et savane marécageuses ; CJ = Champs et Jachères

Source : Données de terrain, 2018

De l'examen de la table 2. , il ressort que les plus fortes valeurs moyennes de la richesse spécifique sont observées au niveau des forêts claires et savanes boisées avec $18,78 \pm 7,84$ espèces par placette. Les plus faibles valeurs sont enregistrées au niveau des cultures et jachères avec $9,74 \pm 5,36$ espèces par placette. On note une faible diversité dans le secteur d'étude avec un indice de diversité de Shannon qui varie de $2,15 \pm 0,65$ bits dans les savanes arborées et arbustives à $0,91 \pm 0,50$ bits dans les forêts claires et savanes boisées pour une moyenne globale de 1,28 bits, ce qui indique que les différentes formations du secteur d'étude sont très peu favorables à l'installation de plusieurs espèces. L'indice d'équitabilité de Pielou a une moyenne équivalant à 0,72. Il varie entre $0,51 \pm 0,38$ (forêts galeries et formations ripicoles) et $0,92 \pm 0,14$ (forêts et savanes marécageuses). Cet indice, traduit une répartition moyennement équitable des individus de chaque espèce dans les différentes formations. Concernant l'indice de Simpson, il oscille entre $0,40 \pm 0,16$ dans les forêts claires et savanes boisées et $0,81 \pm 0,21$ dans les forêts et savanes marécageuses, ce confirme la faible diversité du milieu. Quant à l'indice de Hill, il présente une valeur moyenne de 0,41 à l'échelle du bassin et varie entre $0,10 \pm 0,30$ (cultures et jachères) et $0,88 \pm 0,44$ (forêts galeries et formations ripicoles). Toutes ces valeurs témoignent de la faible diversité observée dans le secteur d'étude comme l'a indiqué le quotient spécifique. Les activités anthropiques dont l'agriculture, l'élevage, l'exploitation forestière et la carbonisation contribuent à la dégradation du milieu favorisant ainsi la baisse de la diversité floristique dans le bassin moyen de la Sota. Cette

baisse de diversité ne sera pas sans conséquence sur la structure dendrométrique des formations végétales.

Les résultats du test de Mann-Whitney révèlent une différence globale hautement significative au seuil de 5 % (Prob. = 0,001) entre les différentes formations végétales sur la base des cinq paramètres écologiques étudiés, à l'exception des forêts galeries et formations ripicoles et les forêts et savanes marécageuses qui présentent des valeurs de diversité de Shannon sans aucune différence significative.

La table 3 présente la diversité bêta entre les différentes formations.

Table 3. Paramètre de diversité bêta au sein des différentes formations

Indice de Sorensen (%)	CJ	FCSB	FGFR	SASa	FSM
CJ	100				
FCSB	61	100			
FGFR	35	28	100		
SASa	76	67	32	100	
FSM	30	35	41	28	100

FG = Forêts galeries ; FCSB = Forêts claires et savanes Boisées ; SASa = Savanes arborée et arbustive ; FSM = Forêts et savane marécageuses ; CJ = Champs et Jachères

Source : Données de terrain, 2018

De l'observation de la table 3 il ressort que la plus grande similarité (76 %) est observée entre les savanes arborées-arbustives et cultures et jachères. Cette similarité est due au nouveau champ d'igname sous savanes arborées-arbustives rencontrés sur le terrain. Ce sont pour la plus part des espèces de la classe des *Combretum*. La dégradation des forêts claires savanes boisées conduit à l'expansion des savanes arborées-arbustives, ce qui justifie l'importante similarité (67 %) entre ces deux formations comme l'indique le table 3.

Dans le secteur d'étude, la cartographie des changements d'occupation des terres à montrer que les forêts claires

savanes boisées contribuent à l'expansion des cultures et jachères, ce qui justifie la présence d'espèce similaires (61 %) entre ces deux unités. En dépit de ces trois cas de similarités remarquées on peut affirmer qu'entre les différentes formations végétales du bassin il y a une dissimilarité supérieure à 50 %. Cela indique que les formations végétales sont distinctes dans le bassin de par leur structure et surtout leur physionomie.

4.3 Caractérisation dendrométrique des formations végétales

La table 4 présente les caractéristiques dendrométriques des arbres dans les différentes formations du secteur d'étude.

Table 4. Paramètres dendrométriques par formation

Unité	Statistique	D	G	Cg	H _L
FGFR	Moyenne	80	7,28	39,96	12,85
	Ecartype	49	7,96	19,82	3,54
	CV (%)	0,62	1,09	0,50	0,28
FCSB	Moyenne	362	12,93	20,24	10,92
	Ecartype	380	11,84	19,56	2,31
	CV (%)	1,05	0,92	0,97	0,21
SASa	Moyenne	165	4,99	18,45	9,42
	Ecartype	119	3,75	10,64	2,13
	CV (%)	0,72	0,75	0,58	0,23
FSM	Moyenne	74,66	3,24	28,11	11,22
	Ecartype	35,82	3,22	13,55	2,65
	CV (%)	0,48	0,99	0,48	0,24
CJ	Moyenne	72	3,33	46,94	10,37
	Ecartype	77	2,72	34,26	3,03
	CV (%)	1,072	0,82	0,73	0,29

D : densité, G : surface terrière, Cg : circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne, H_L : Hauteur moyenne de Lorey, FGFR = Forêts galeries ; FCSB = Forêts claires et savanes Boisées ; SASa = Savanes arborée et arbustive ; FSM = Forêts et savane marécageuses ; CJ = Champs et Jachères

Source : Données de terrain, 2018

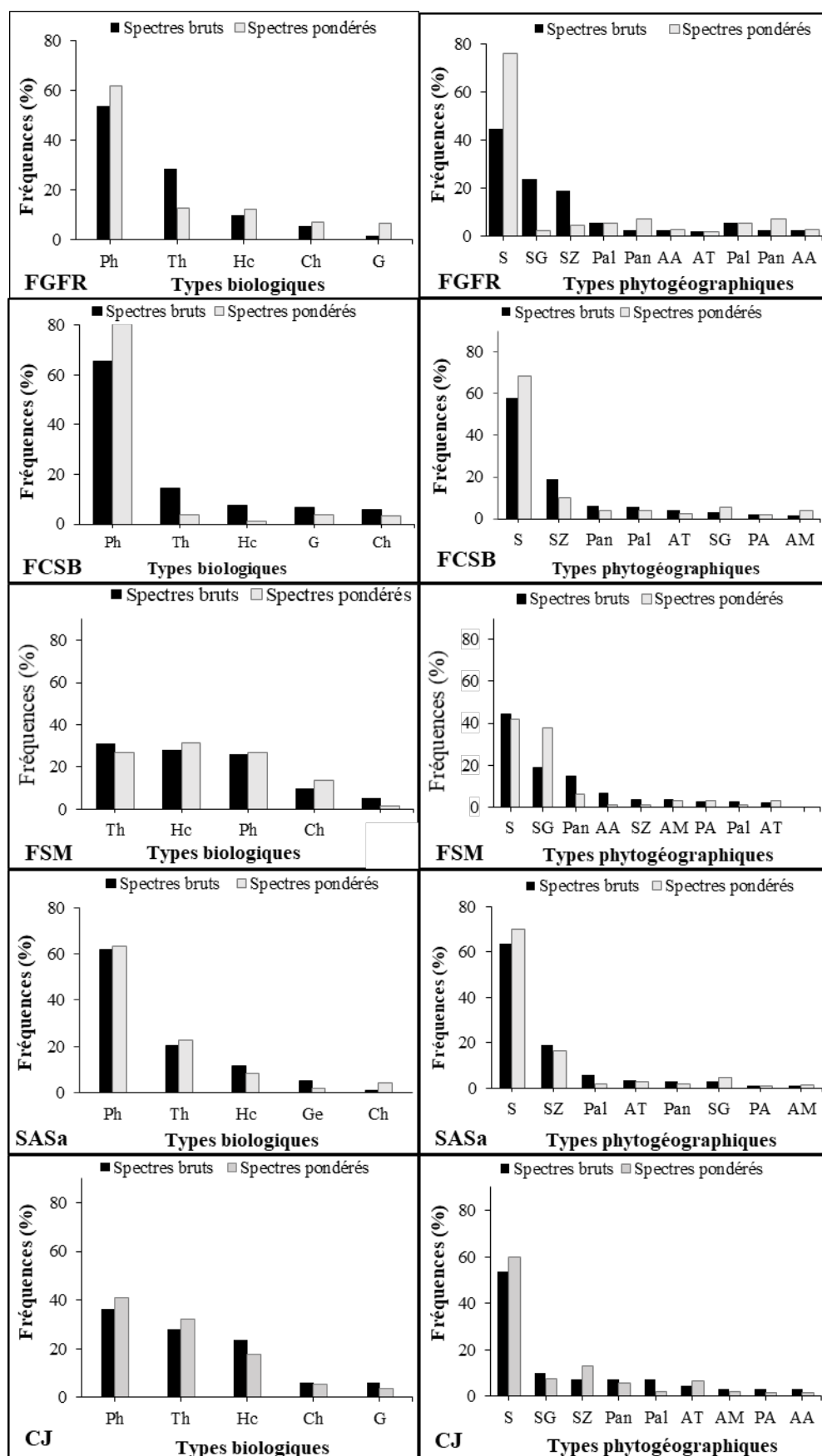


Fig.4. Spectres bruts et spectres pondérés des types biologiques et des phytogéographiques

Légende :

Th : thérophytes ; Ch : chaméphytes ; G : géophytes ; Hc : hémicryptophytes ; Ph : phanérophytes ; S : espèces soudaniennes ; Pan : espèces pantropicales ; Pal : espèces paléotropicales ; AA : espèces afro-américaines ; SZ : espèces soudano-zambéziennes ; SG : espèces soudano-guinéennes ; AT : espèces afro -tropicale ; PA : espèces réparties dans plusieurs régions d'Afrique ; GC : espèces guinéo-congolaises ; FG = Forêts galeries ; FCSB = Forêts claires et savanes Boisées ; SASa = Savanes arborée et arbustive ; FSM = Forêts et savane marécageuses ; CJ = Champs et Jachères.

De l'observation de la table 4 il ressort que les forêts claires et savanes boisées présentent la plus forte densité (362 ± 380 individus/ha) et la plus forte surface terrière ($12,93 \pm 11,84$ m²/ha). A l'opposée, les cultures et jachères sont les moins denses avec 72 ± 77 individus/ha et présentent la plus faible surface terrière de $3,33 \pm 2,72$ m²/ha. La densité moyenne est de 151 ± 132 individus/ha et la surface terrière moyenne de $6,32 \pm 6$ m²/ha à l'échelle du bassin. Ceci témoigne des pressions anthropiques que subissent les différentes formations dans le bassin moyen de la Sota. La circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne présente ses plus fortes valeurs au niveau des cultures et jachères ($46,94 \pm 34,26$ m), alors que les plus faibles valeurs sont observées dans les savanes arborées et arbustives avec $18,45 \pm 10,64$ m. A l'échelle du bassin la valeur moyenne de circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne est de 31 ± 20 m. Quant à la hauteur moyenne de l'arbre elle oscille entre 11 ± 3 m à l'échelle du bassin. Les plus fortes valeurs sont enregistrées dans les forêts galeries et formations ripicoles ($12,85 \pm 4$ m), alors la plus faible valeur s'observe dans les savanes arborées et arbustives (9 ± 2 m). Ce qui explique largement la prépondérance des arbres de petites circonférences dans le secteur d'étude. L'état d'une formation végétale est défini par sa composition structurale (arbre) dominante et la structure de peuplement attendue de cette formation donnée. Le changement de l'état de cette formation résulte d'une perte de sa résilience se traduisant par le passage partiel ou complète de cette unité vers une autre unité différente de l'état initiale. Par conséquent, le «changement d'état d'une formation végétale dense ou à dominance de gros arbres vers une autre moins dense ou à dominance de jeunes arbres peut être retenu comme indicateur de la dégradation». Ainsi, la prépondérance des individus jeunes dans les différentes formations végétales naturelle et la faible densité observée dans les formations végétales naturelle pourrait s'expliquer par leurs états de dégradation avancée dans le bassin.

Le test statistique de Mann-Whitney indique une différence hautement significative (Prob = 0,001) entre les formations végétales au seuil de 5 % sur la base des trois premiers paramètres dendrométriques. Par contre, il n'y a

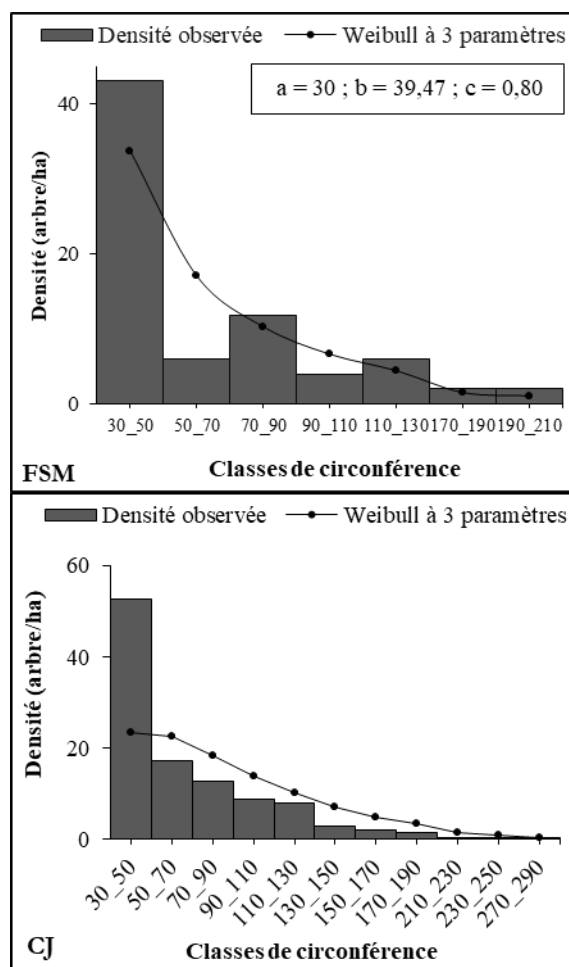
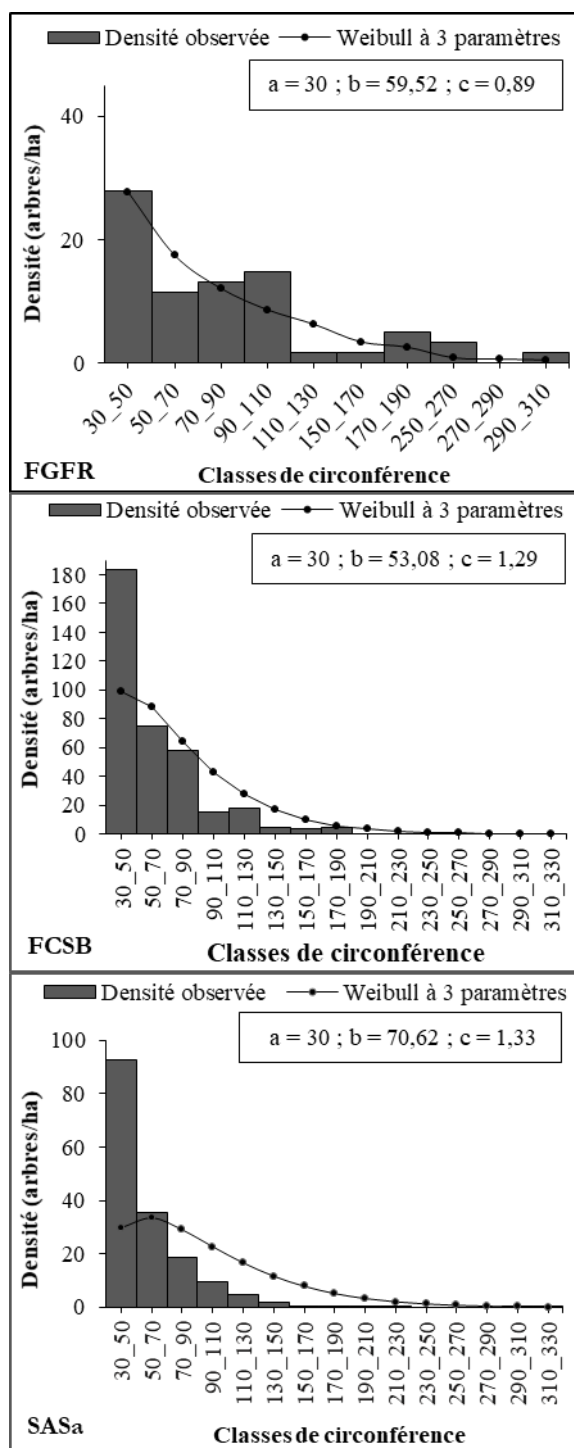
aucune différence significative entre les formations végétales sur la base de la hauteur moyenne de Lorey.

4.4 Répartition par classe de circonférence des arbres

La fig.5 présente la répartition par classe de circonférence des arbres dans les différentes formations végétales.

On note que toutes les cinq formations végétales identifiées présentent globalement une allure en "J renversée", caractéristique des peuplements multispécifiques avec des valeurs du paramètre de forme c de la distribution de Weibull toutes proche de 1 indiquant la prépondérance des individus jeunes. Les individus de circonférences moyenne sont aussi remarquable dans les galeries et formations ripicoles.

De l'observation de la fig.5, il ressort que la structure des arbres dans le bassin moyen de la Sota reste dominée par les individus de petites circonférences [30 cm ; 50 cm] avec une densité moyenne de 80 tiges à l'hectare dans les formations végétales du secteur d'étude. Les individus de circonférences moyennes c'est-à-dire comprise entre 50 cm et 110 cm sont faiblement représentés. Par contre, les gros arbres ($C \geq 110$ cm), sont quasi inexistantes.



Légende : FGFR : Forêt galerie et formation ripicole, FCSB : Forêt claire et savane boisée, SASa : Savanes arborée et arbustive, FSM : Forêt et savane marécageuses, CJ : Culture et jachère

Fig. 5. Structure en classes de circonférence

V. DISCUSSION

Les analyses quantitative et qualitative de la flore et de la végétation du bassin moyen de la Sota révèlent de fortes perturbations au sein des différentes formations. Dans l'ensemble, le cortège floristique est de 347 espèces réparties en 179 genres et 72 familles pour 174 placettes. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [24], dans le sous bassin de l'Aguimo au Bénin avec 345 espèces réparties en 232 genres et 75 familles. [7] ont obtenu des valeurs similaires dans le district phytogéographique du Borgou-nord avec 171 espèces réparties en 135 genres et 56 familles. Cette valeur est légèrement inférieure à celles obtenues par [25] dans le sud soudanien burkinabé (350 espèces) et supérieure à celle de [26] en région soudanienne

tchadienne (298 espèces). Le quotient spécifique global est faible et est de 1,93. Une valeur élevée de ce quotient suppose une pauvreté en espèce et une richesse en genres du milieu. De plus, ce quotient montre que la flore du bassin est dominée par les espèces en régénération naturelle. Ce qui veut dire que le milieu connaît une dégradation qui ne permet pas à la flore de se reconstituer pour revenir à son état initial appelé état stable. Une telle évolution conduit à court et à moyen terme à une réduction de la production de biens et de services et à long terme au point de basculement. Le point auquel un écosystème perd sa capacité de récupération, ou auquel sa résilience et son intégrité sont perdues, est désigné comme point de basculement, ou seuil écologique. Dans les forêts galeries et les formations ripicoles, les familles les plus fréquentes sont par importance les Ebenaceae (11 %) et les Combretaceae (9 %). Par contre, les genres *Diospyros* (5 %) et *Terminalia* (4 %) sont les plus représentatifs. Les espèces végétales les plus fréquentes dans ces formations sont : *Terminalia macroptera*, et *Diospyros mespiliformis* avec une fréquence relative de 4,41% chacune. Les espèces les plus abondantes sont les *Terminalia avicennioides* (11,73 %) et les *Annona senegalensis* (10, 20 %). Parlant de la dominance relative, *Daniellia oliveri* (13,37 %) et *Anogeissus leiocarpa* (8,52 %) sont les plus dominantes. La dominance des familles cosmopolites indique le bassin constitue un lieu de rencontre des plusieurs espèces d'origines diverses. A l'échelle des formations végétales, on note une richesse spécifique moyenne qui varie entre 10 et 19 espèces et qui est inférieure aux résultats enregistrés dans la même région par [27] et [28]. La plus faible richesse spécifique est enregistrée dans les champs et jachères ce qui explique mieux les fortes dégradations observées dans le secteur d'étude du fait de l'influence humaine. L'étude des diversités alfa et bêta indique de faibles valeurs de la diversité spécifique dans le secteur d'étude traduisant donc la faible diversité enregistrée au sein des différentes formations végétales. Ainsi, on observe des valeurs relativement faibles de l'indice de Shannon, caractérisé par la prédominance d'un petit nombre d'espèces par rapport aux autres [29]. C'est le signe d'un milieu très peu stable [18]. Cela peut être lié au fait que certaines espèces observées sur les sites évoluent en peuplement et non en individus isolés (par exemple, *Anogeissus leiocarpa*, *Vitellaria paradoxa*, *Lannea barteri*). Les valeurs relativement élevées de l'indice d'équitabilité de Pielou (0,51 à 0,92) sont congruentes avec ces observations [30]. Les faibles valeurs des indices de Hill et de Simpson confirment la faible diversité et la dégradation de la

végétation du bassin moyen de la Sota. La plus grande similarité (76 %) est observée entre les savanes arborées-arbustives et cultures et jachères. Cette similarité est due au nouveau champ d'igname sous savanes arborées-arbustives rencontrés sur le terrain. Ce sont pour la plus part des espèces de la classe des Combretum. La dégradation des forêts claires savanes boisées conduit à l'expansion des savanes arborées-arbustives, ce qui justifie l'importante similarité (67 %) entre ces deux formations. Dans le secteur d'étude, la cartographie des changements d'occupation des terres à montrer que les forêts claires savanes boisées contribuent à l'expansion des cultures et jachères, ce qui justifie la présence d'espèce similaires (61 %) entre ces deux unités. En dépit de ces trois cas de similarités remarquées qui ne signifie en aucun cas que ses formations sont les mêmes physionomiquement on peut affirmer qu'entre les différentes formations végétales du bassin il y a une dissimilarité supérieure à 50 %. Cela indique que les formations végétales sont bien distinctes dans le bassin de par leur structure et surtout leur physionomie. Dans le bassin de l'Ouémé supérieur, [24] indique que les forêts claires, les savanes boisées et les savanes arborées présentent des similitudes floristiques. 57 % des espèces communes à ces trois formations végétales appartiennent à la classe des *Hyparrhenietea*. Cette similitude n'empêche pas leur description en tant que formations distinctes car les observations de terrain confirment que ces formations sont bien distinctes sur le plan physionomique. Les densités des arbres dans les formations varient entre 72 et 362 tiges à l'hectare avec une valeur moyenne de 151 tiges/ha, similaire à celle obtenue (179 tiges/ha) par [7]. Ces valeurs sont faibles et s'écartent de ceux obtenus quelques années plus tôt par [27] ; [31]. Les surfaces terrières également sont faibles et varient entre 3,24 à 12,93 m²/ha. Les champs et jachères de même que les forêts et savanes marécageuses présentent les plus faibles surfaces terrières. La structure spatiale des arbres dans le bassin moyen de la Sota est caractérisée par la raréfaction des gros arbres au détriment des petits arbres qui sont les plus abondants. Les formes de vie les plus représentées dans le bassin moyen de la Sota sont les phanérophytes, suivis dans presque toutes les formations par des thérophytes et des hémicryptophytes, sauf dans les forêts et savanes marécageuses où viennent en tête les thérophytes et les hémicryptophytes. L'abondance et la dominance des phanérophytes montrent la forte représentativité des ligneux dans presque toutes les formations végétales. Cette forte présence des phanérophytes constitue un espoir pour la reconstitution naturelle des formations végétales dégradées. Toutefois, la

présence remarquable des thérophytes dans les forêts claires, les savanes boisées, les savanes arborées et arbustives est le signe évident de perturbation de ces formations naturelles ([28] ; [32]). La forte présence des thérophytes dans le secteur d'étude traduit une prévalence des formations savanicoles [33] qui, doublée d'une faible représentativité des hémicryptophytes, indique un climat du sous-domaine soudanien septentrional ([26]; [34]) dans laquelle s'étend progressivement le milieu sahélien. Les types biologiques reflètent non seulement les paramètres structuraux dans une végétation mais également les conditions environnementales variées. Les types phytogéographiques traduisent la fidélité des espèces à leur région de confinement et permettent de juger de la spécificité de la flore locale [23]. La forte proportion des espèces de l'élément base-soudanien combinée à celle des espèces soudano-zambéziennes et soudano-guinéenne traduit l'appartenance de la zone d'étude au domaine soudanien [12]. C'est le signe que le secteur d'étude malgré la dégradation en cours garde toujours sa spécificité. Cette dégradation justifie la faible proportion des espèces à large distribution et à distribution continentale dans le secteur d'étude affectant ainsi la composition et la structure de la flore du bassin moyen de la Sota. L'état d'une formation végétale est défini par sa composition structurale (arbre) dominante et la structure de peuplement attendue de cette formation donnée. Le changement de l'état de cette formation résulte d'une perte de sa résilience se traduisant par le passage partiel ou complète de cette unité vers une autre unité différente de l'état initiale. Ainsi, la prépondérance des individus jeunes dans les différentes formations végétales naturelle et la faible densité observée dans ces unités pourrait s'expliquer par leurs états de dégradation avancée dans le bassin. Au total, l'hypothèse de la présente recherche qui stipule que la composition floristique et la structure dendrométrique indiquent l'état de dégradation avancé de la végétation dans le bassin moyen de la Sota est alors vérifiée.

VI. CONCLUSION

L'analyse de la flore dans le bassin moyen de la Sota indique de fortes perturbations au sein des formations végétales. La structure horizontale des arbres, connaît une prédominance des espèces de petites circonférences, avec une quasi-absence des espèces de grosses circonférences. La diversité floristique est faible dans l'ensemble des formations témoignant ainsi de la forte dégradation observée dans le BMS. L'analyse des formes de vie indiquent une abondance et une dominance des phanérophytes suivies des thérophytes et dans les moindres mesures des

hémicryptophytes. L'analyse des types phytogéographiques a montré l'abondance et la dominance des espèces de l'élément base soudanien suivies des espèces soudano-zambéziennes et des espèces soudano-guinéennes. Preuve que le milieu garde encore sa spécificité. Cependant, la présence des hémicryptophytes annonce l'emboîtement du milieu sahélien sur le soudanien. La structure dendrométrique est caractérisée par une très faible densité des arbres et de la surface terrière des arbres avec prépondérance des individus jeunes. Toutefois, la présence de petits arbres laisse présager une probable reconstitution des formations végétales dégradées si les perturbations s'arrêtaient. Dans le cas échéant on assistera à la perte de résilience de la flore et des émissions importantes des GES.

REFERENCES

- [1] TENTE B., Dynamique actuelle de l'états de surface dans le massif de l'Atacora : Secteur Perma – Toucountouna. Mém. DEA /FLASH/UNB, Bénin, 2000, p. 83.
- [2] FAO., « Evaluation des ressources forestières mondiales 2015 : rapport national du Bénin », 2015, Rome. <http://www.fao.org/3/a-au190f.pdf> consulté le 08/10/2019.
- [3] Geny, C, Perron, H., Gratacap, B., Lalande, B., Genoulaz, O., Laurent, A., ... & Seignerurin, J. M.. In vitro transmission and antigenicity of a retrovirus isolated from a multiple sclerosis patient., *Research in virology*, 1992, (143), p. 337-350.
- [4] Akoegninou A., Van der Burg W. J. & Van der Maesen L. J. G., Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers, Wageningen, 2006, p. 1034.
- [5] INSAE., RGPH4 : Que retenir des effectifs de population en 2013 ? Cotonou, Direction des études démographiques, institut national de la statistique et de l'analyse économique (INSAE), 2015.
- [6] FAOSTAT. L'Annuaire FAO des produits forestiers est un recueil de données statistiques sur les produits forestiers de base. www.fao.org/statistics 18-21 Novembre 2019, New Delhi, Inde.
- [7] Issifou M. Y., Arouna O. et Zakari S., Diversité floristique et structure des formations végétales dans le district phytogéographique du Borgou-nord au Benin (secteur de l'arrondissement de bagou). Notes scientifiques homme et société, Université de Lomé (Togo), 2017, (7),p. 63-80

- [8] Issifou M.Y., Dynamique phytogéographique de la région soudanienne au Bénin : secteur du district Borgou-Nord (Arrondissement de Bagou commune de Gogounou). Mémoire de maîtrise de géographie et aménagement du territoire de l'Université d'Abomey-calavi. Cotonou, Bénin, 2014, p.119
- [9] Onibon, P., Définition d'une politique et d'un programme d'actions pour la gestion de la transhumance « durable », dans le cadre de la lutte contre la désertification au Bénin. Mission, MEHU, Cotonou, Bénin, 1999, p.65
- [10] FAO, La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, Rome, Italie, 2000, p. 99
- [11] Zakari S., Vulnérabilité des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Couberi (Bénin) », « Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 2015.
- [12] Adomou, A.C., Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: Implications fobiogeography and conservation. PhD thesis, Wageningen University, 2005, p.150
- [13] White F., The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa. UNESCO, Paris, France, 1983, p.356
- [14] Akobundu I. & Agyakwa C. W., Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest. IITA, Ibadan, Nigéria, 1989, p. 522
- [15] de Souza S., Flore du Bénin : Nom des plantes dans les langues nationales béninoises, Tome 3, Cotonou, Bénin, 1988, 423 p.
- [16] Arbonnier M., Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD et MNHN, Paris, France, 2002, p. 573
- [17] Curtis, J. T., & McIntosh, R. P., The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. Ecology, 1950, 31(3), 434-455.
- [18] Dajoz, R., Linné, un précurseur de l'écologie. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 1985, 54(8), 53-64.
- [19] Troupin, G., Flore des Spermatophytes du Parc National de la Garamba, I. Gymnospermes et Monocotylédones, in exploration du Parc National de la Garamba, 1956, pp 221-227.
- [20] Evrard, C., Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la cuvette centrale Congolaise. Publ. INEAC, *Sér. Sc.*, 1968, 110 : 295 p. in Sonké, B. 1998. – Etudes floristiques et structurales des forêts de la Réserve de Faune du Dja (Cameroun). Thèse de doct. ULB. Labo. Bot. Syst. & Phyt. 276 p.
- [21] Lebrun, J.,– Sur une méthode de délimitation des horizons et étages de végétation de montagne Au Congo oriental. Bull. Jard. Bot. Etat, Bruxelles, 1960, 30 : 75-94.
- [22] Rondeux, J., La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux, 1999.
- [23] Arouna O., Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : Implication pour l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat en Géographie, UAC, 2012, p. 246
- [24] Toko Imorou Ismaïla, Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la structure de la végétation le long des toposéquences du bassin supérieur du fleuve Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 2008, p. 241
- [25] Savadogo S., Sambare O., Thiombiano A., Écologie et diversité des bois sacrés et des savanes environnantes du secteur sud-soudanien du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2018, 35, Issue 3: 5715-5733. <http://www.m.elewa.org/JAPS>
- [26] Melom, S., Mbayngone, E., BECHIR, A. B., Ratnan, N., & Mapongmetsem, P. M., Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya au Tchad (Afrique centrale). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2015, 25(1), 3799-3813.
- [27] Fonton, N. H., Atindogbe, G., Fandohan, B., Lejeune, P., & Ligot, G., Structure spatiale des arbres des savanes boisées et forêts claires soudaniennes: implication pour les enrichissements forestiers. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 2012, 16(4), 429-440.
- [28] Arouna, O., Etene, C. G., & Issiako, D., Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 2016, 108(1), 10543-10552.
- [29] Shannon, C. E., & Weaver, W., A Transmission Model of Communication. Urbana, IL: University of Illinois Press., 1949

- [30] Pielou, E. C. An introduction to mathematical ecology. An introduction to mathematical ecology., 1969
- [31] Agonyissa D., Hahn-Hadjali K. & Sinsin B.,. Species diversity variation in Sudanian woodland in relation to grazing pressure with control in protected area and in surrounding village. In: 16 th Annual Conference of the Society for Tropical Ecology, Rostock, Germany, 2003, 19-22.
- [32] Gbesso, F. H. G., Tente, B. H. A., Gouwakinnou, G. N., & Sinsin, B. A. Influence des changements climatiques sur la distribution géographique de *Chrysophyllum albidum* G. Don (Sapotaceae) au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 2013, 7(5), 2007-2018.
- [33] Mbaygone E., Flore et végétation de la réserve partielle de la faune de Pama Sud-est du Burkina-Faso. Thèse Unique, Univ. Ouagadougou, 2008, p. 138
- [34] Sinsin B. & Oumorou M. Etude de la diversité spécifique du groupement à *Cochlospermum tinctorium* A. Rich. Des savanes arbustives du nord-Bénin. Acta Bot.Gallica, 2000, 147 (4), 345-360.