

## **Richesse spécifique, diversité floristique et stock de carbone des systèmes d'utilisation des terres de la Province de Tandjilé-Est au Tchad**

**Adoum DONA**

*Université des Sciences et de Technologie d'Ati, Faculté des Sciences de la Vie, de la Terre et Aménagement du Territoire, Département des Sciences de la Vie et de la Terre, Laboratoire de Biodiversité et Développement Durable, BP 9957, Ati, Tchad*

(Reçu le 29 Septembre 2023 ; Accepté le 18 Décembre 2023)

---

\* Correspondance, courriel : [gdonadptsvt@gmail.com](mailto:gdonadptsvt@gmail.com)

### **Résumé**

Au Tchad, les aléas climatiques, la désertification et la surexploitation de la biodiversité représentent de sérieux problèmes environnementaux. L'objectif assigné à cette étude est d'évaluer la richesse spécifique, la diversité floristique et le stock de carbone des systèmes d'utilisation des terres de la Province de Tandjilé-Est au Tchad. Le dispositif utilisé est celui des placettes quadrangulaires de 50 m x 50 m. Un réseau de 180 relevés dont 60 par site et à raison 45 par système d'utilisation des terres a été exécuté. Le stock de carbone a été calculé à partir de l'équation allométrique à un prédicteur. La flore est assez diversifiée et composée de 46 espèces, 28 genres et 21 familles pour un total de 1644 ligneux dont la densité est de 36,53 tiges/hectare. L'indice de diversité de Hill oscille entre 3,82 bits pour le champ de brousse dans le site de Kimré et 4,97 bits au niveau du parc à *Vitellaria paradoxa* (site de N'dam). La population de N'dam dispose donc du savoir-faire en matière de gestion de la biodiversité. L'indice d'Équitabilité de Piéluou varie de 0,021 bit dans le jardin de case (site de Kimré) à 0,026 bit pour le parc à *Vitellaria paradoxa* dans le site de Guidari. La population de Guidari conserve mieux la biodiversité dans leur système de production. La quantité totale de carbone enregistrée est de l'ordre de grandeur de 110,77tC/ha avec la plus importante proportion accumulée dans les parcs à *Vitellaria paradoxa* (29,07 tC/ha), suivi de parcs à *Borassus aethiopum*, soit 28,12 tC/ha. Ces agrosystèmes constituent des puits de carbone et participent à la réduction des émissions du dioxyde de carbone atmosphérique.

**Mots-clés :** *biodiversité, biomasse, stocks de carbone, systèmes d'utilisation des terres, Tchad.*

### **Abstract**

**Species richness, floristic diversity and carbon stock of land-use systems in the Province of Tandjilé-Est, Chad**

In Chad, climatic hazards, desertification and overexploitation of biodiversity are serious environmental problems. The aim of this study is to assess the species richness, floristic diversity and carbon stock of land-use systems in the Tandjilé-Est Province of Chad. The system used consists of 50 m x 50 m quadrangular plots. A network of 180 surveys was carried out, 60 per site and 45 per land-use system. The carbon stock was calculated using the one-predictor allometric equation. The flora is fairly diverse, comprising 46 species, 28

genera and 21 families for a total of 1,644 woody plants with a density of 36.53 stems/hectare. Hill's diversity index varies between 3.82 bits for the bush field at the Kimré site and 4.97 bits at the *Vitellaria paradoxa* park (N'dam site). The population of N'dam therefore has expertise in biodiversity management. The Piélou equitability index varies from 0.021 bit in the home garden (Kimré site) to 0.026 bit for the *Vitellaria paradoxa* park at the Guidari site. The Guidari population is better at conserving biodiversity in their production system. The total quantity of carbon recorded is of the order of magnitude of 110.77 tC/ha, with the greatest proportion accumulated in the *Vitellaria paradoxa* park (29.07 tC/ha), followed by the *Borassus aethiopum* park (28.12 tC/ha). These agrosystems act as carbon sinks and help to reduce atmospheric carbon dioxide emissions.

**Keywords :** *biodiversity, biomass, carbon stocks, land use systems, Chad.*

## 1. Introduction

Au Tchad, les aléas climatiques et la dégradation des terres constituent de sérieux problèmes environnementaux. La pauvreté, ainsi que l'inadéquation entre l'économie et le social sont cités parmi les menaces majeures qui impactent sur la richesse floristique [1, 2]. Malgré les efforts fournis, la sécheresse continue de provoquer la régression de la diversité floristique et plus particulièrement celle des ligneux [3]. La dégradation de la biodiversité s'accompagne également de la déperdition des savoirs socioculturels et socioéconomiques en matière de la gestion des ressources naturelles [4]. Les conséquences qui en résultent sont particulièrement, la diminution des richesses floristique, l'apparition de la famine et des maladies [5, 6]. Cependant, la diversité ligneuse délibérément conservées dans les systèmes d'utilisation des terres par la population locale joue un rôle indispensable. Elle procure des produits forestiers comestibles, du bois d'énergie et de construction, du fourrage et des produits médicinaux [7]. Par ailleurs, les changements climatiques affectent l'activité de nombreux producteurs Africains, notamment ceux des pays en voie de développement à dominance rurale comme le Tchad [8, 9]. De plus les phénomènes climatiques atypiques entraînent des modifications dans le calendrier agricole, voire des changements plus profonds dans les systèmes d'utilisation des terres [10, 11]. La majorité des ménages vit d'une agriculture dite de subsistance dépendante du climat, impliquant la mise en œuvre des techniques et outils souvent rudimentaires [12]. En outre, les richesses spécifiques sont de plus en plus détruites, pourtant elles constituent d'importants réservoirs de carbone en interaction permanente avec l'atmosphère. Au Tchad, plusieurs études ont analysé la richesse et la diversité floristique [13-15]. Rares sont celles qui ont axé leur évaluation sur la richesse, la diversité floristique et le stock de carbone dans des systèmes d'utilisation des terres, excepté [16]. L'objectif de cette étude est d'évaluer la richesse, la diversité floristique et le stock de carbone des systèmes d'utilisation des terres de la Province de la Tandjilé-Est au Tchad. Plus spécifiquement, il s'agit :

- d'évaluer la diversité de la végétation ligneuse des systèmes d'utilisation des terres ;
- d'estimer la biomasse et le stock de carbone de ces systèmes de production.

## 2. Matériel et méthodes

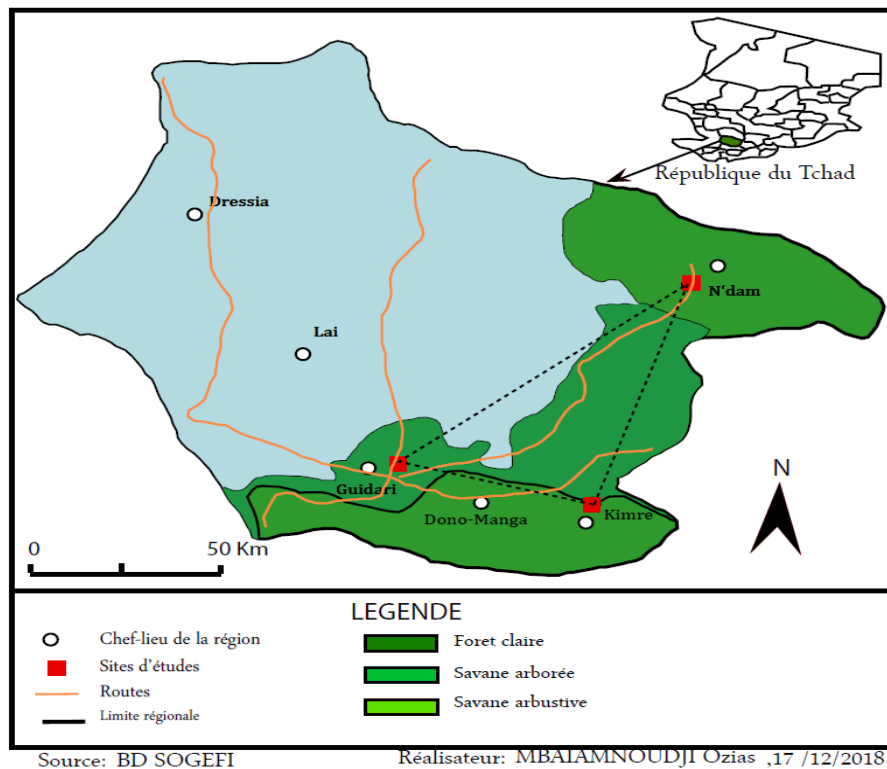
### 2-1. Choix et description des sites d'étude

L'étude s'est déroulée dans la Province de la Tandjilé-Est, en zone soudanienne du Tchad. Cette zone est formée des forêts claires, de savane arborée et savane arbustive [46]. Dans chacun de ces faciès, les sites retenus sont ceux de Guidari, Kimré et N'dam dont les coordonnées géographiques ont été enregistrées à l'aide d'un GPS (*Tableau 1*).

**Tableau 1 : Coordonnées géographiques des sites explorés**

Sites	Faciès	Latitude	Longitude	Altitude (m)
N'dam	Forêt claire	09° 45' 03,4''	017° 10' 57,8''	382,2
Guidari	Savane arbustive	09° 18' 16,7''	016° 55' 47,7''	354,9
Kimré	Savane arborée	09° 17' 48,5''	016° 55' 47,8''	355,8

Différents groupes ethniques y cohabitent, pratiquant principalement l'agriculture et l'élevage. Les Gham, les Gabri et les N'dam sont les groupes les plus représentatifs, c'est-à-dire plus nombreux, autochtones et ayant des cultures diversifiées dans la gestion de la biodiversité. Le climat est caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche de novembre à mars et d'une saison pluvieuse d'avril à octobre. La pluviosité moyenne annuelle est comprise entre 700 et 1200 mm avec d'importantes variations intra et interannuelles. La moyenne annuelle des températures maximales oscille entre 27 et 44°C et les températures minimales varient de 22 à 36°C [17]. Le relief est plat avec des dénivellations vers le Nord de la Province. Sur le plan pédologique, les sols sont essentiellement formés des sédiments latéritiques, sableux, sablo-argileux et limoneux [18]. La végétation est typique d'une forêt claire et apparaît plus dense le long des sanctuaires vers le site de N'dam de latitude 09° 46' 03,4'' et de longitude 017° 10' 57,8'' [19] (**Figure 1**).



**Figure 1 : Carte de la localisation des sites d'étude**

Elle est constituée d'une mosaïque de formations primaires et secondaires savaniques. La hauteur des arbres oscille entre 10 et 15 m pour un taux de couverture de 30 à 40 % [20]. Ce site est dominé par des espèces telles que *Anogeissus leiocarpus*, *Diospyros mespiliformis*, *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Terminalia avicennioides*, *T. macroptera*, *T. laxiflora*, *Combretum collinum*, *Crossopteryx febrifuga*. La savane arborée est localisée dans le site de Kimré de latitude 09° 17' 48,5'' et de longitude 0 16° 55' 47,6''. Elle est dominée par des espèces comme : *Borassus aethiopum*, *Combretum glutinosum*, *C. micrathum*, *C. nigricans*. Les arbres et arbustes y sont répandus, leur hauteur varie entre 8 et 12 m pour une densité

comprise entre 20 % à 30 % [21]. Les essences rencontrées sont : *Detarium microcarpum*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Diospyros mespiliformis*, *Isobertinia doka*, *Khaya senegalensis*, *Lannea acida*, *L. microcarpa*, *Parkia biglobosa*, *Prosopis africana*, *Sclerocarya birrea*, *Tamarindus indica*, *Terminalia macroptera* et *Vitellaria paradoxa*. La savane arbustive quant à elle est localisée plus au Nord dans le site de Guidari de latitude 09° 18' 16,7" et de longitude 016° 55' 47,6". Dans cette savane, les arbres sont disséminés, leur hauteur se situe autour de 7 m pour un taux de recouvrement allant de 10 % à 25 % [22]. Elle est constituée des arbres et arbustes souvent dispersés ou formant des fourrées en bandes alternant avec des espaces dénudés du fait de la déforestation et des feux de brousse [4, 15]. Les essences ligneuses couramment rencontrées sont dominées par *Acacia dudgeoni*, *A. nilotica*, *A. senegal*, *A. seyal*, *Boscia senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Cassia sieberiana*, *Combretum aculeatum*, *C. aculeatum*, *C. micranthum*, *Commiphora africana*, *Crossopteryx febrifuga*, *Gardenia erubescens*, *Grewia bicolor*, *Ximenia americana* et *Ziziphus* spp.

## 2-2. Systèmes d'utilisation des terres

Les systèmes d'utilisation des terres diagnostiqués dans le cadre de cette étude sont ceux formés de jardin de case, champ de brousse, parc à *Borassus aethiopum* et parc à *Vitellaria paradoxa*. L'espace agraire s'organise autour de chaque village en auréoles correspondant aux types d'utilisation des terres [23]. A proximité des habitations paysannes se trouve les jardins de case (JC) qui constituent la première auréole où sont cultivées des céréales comme le sorgho précoce, le maïs et les légumes pour l'alimentation familiale. C'est dans ces systèmes que la fumure organique, issue des déchets ménagers et déjections animales est utilisée comme biofertilisants [24]. Plus éloigné des villages se situent les champs de brousse, destinés aux spéculations telles que l'arachide (*Arachis hypogaea*), le poids de terre (*Vouandzou subterranea*), le cotonnier (*Gossypium* spp), le niébé (*Vigna unguiculata*) ou le sésame (*Sisamum indicum*). Les parcs agroforestiers sont des systèmes agraires renfermant des arbres sélectionnés et multipliés pour leurs utilités socioéconomiques et socioculturelles [25, 26]. Dans ces systèmes agroforestiers se distinguent les parcs à *Vitellaria paradoxa* (PV) et les parcs à *Borassus aethiopum* (PB).

## 2-3. Inventaire floristique

Le dispositif utilisé est celui des placettes quadrangulaires de 50 m x 50 m. Ce dispositif a été utilisé dans les inventaires floristiques au Burundi [29] et pour caractériser la diversité végétale dans la biosphère du Ferlo au Sénégal [30]. Il est simple et facile à établir car permet de minimiser des marges d'erreur liées aux mesures dendrométriques [31]. Au total 180 relevés dont 60 par site et à raison de 45 relevés par système de production.

### 2-3-1. Indices de diversité

L'étude des indices de diversité est basée sur la richesse spécifique (RS). RS est le nombre total d'espèces végétales de la communauté étudiée. L'indice de Shannon-Weaver ( $H$ ) mesure l'incertitude quant à l'appartenance d'une espèce dans un peuplement [32].  $H$  exprime la proportion de chaque espèce et présente l'avantage d'être indépendant de la taille de l'échantillon.  $H$  est établi suivant la **Formule** [59] :

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} * \ln \left( \frac{n_i}{N} \right) \quad (1)$$

$n_i$  est l'effectif de l'espèce  $i$  et  $N$ , la richesse spécifique.  $H$  est d'autant plus grand que la richesse spécifique est élevé.  $H = 0$  si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce.  $H$  est maximal quand tous les individus sont repartis d'une façon égale [33]. L'indice de Shannon est souvent

accompagné de l'indice d'équitabilité de Pielou, qui correspond au rapport entre la diversité observée et la diversité maximale [34] :

$$E = \frac{H'}{\log_2 * S} \tag{2}$$

*S* est le nombre total des espèces. Cet indice peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement [35]. L'indice de Simpson (*D*) est une mesure de la dominance. *D* exprime la probabilité que deux individus tirés au hasard dans une population donnée, appartiennent à la même espèce [60] :

$$D = \sum n_i(n_i - 1) / N(N - 1) \tag{3}$$

Avec *n<sub>i</sub>*, l'effectif de l'espèce *i* et *N* l'effectif total de l'échantillon. Cet indice aura une valeur 0 pour indiquer le maximum de diversité et 1 pour le minimum de diversité [36]. L'indice de diversité de Hill est une mesure de l'abondance proportionnelle permettant d'associer *H* et *D* [37] :

$$Hill = \frac{1}{D} (e^{H'}) \tag{4}$$

avec, (1/*D*), l'inverse de l'indice de Simpson et (*e<sup>H'</sup>*) l'exponentiel de l'indice de Shannon. Plus l'indice s'approche de la valeur 1, plus la diversité est faible.

### **2-3-2. Stock de carbone et l'équivalent dioxyde de carbone**

La phytomasse a été déterminée à partir de l'équation allométrique [38], applicable aux espèces ligneuses de la zone tropicale [16]. Cette **Équation** est fonction d'un seul prédicteur [61] :

$$BM (kg) = 25,581h - 7,006h^2 + 0,662h^3 \tag{5}$$

*BM* a été convertie en tonne (t/h) ; *h* est la hauteur de l'arbre mesurée en mètre (m). L'eau représente 47 % de la biomasse fraîche en zone sèche [39]. La teneur en carbone occupe 25 % de la biomasse sèche [40]. L'estimation du stock de carbone consiste à multiplier la phytomasse sèche par le coefficient 0,25 [4] :

$$Cstocké = biomasse * 0,25 \tag{6}$$

*C* s'exprime en (tC/ha), la biomasse sèche de chaque espèce ligneuse en (t/ha). Le stock de carbone déterminé en (tC/ha) a été converti en équivalent dioxyde de carbone (EqCO<sub>2</sub>) absorbée par les plantes *via* la photosynthèse en utilisant le ratio 44/12 (3,66) correspondant au rapport CO<sub>2</sub>/C [41].

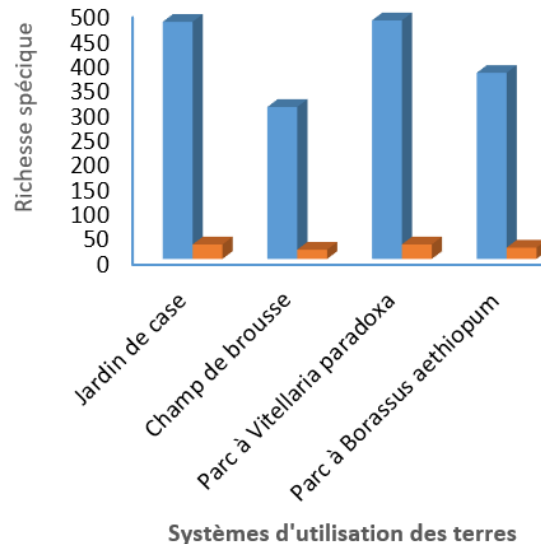
### **2-3-3. Analyse et traitement des données**

Le logiciel Microsoft Excel 2016 a servi au classement des données numériques et à l'élaboration des divers graphiques. Le logiciel Statgraphics plus 5.0 a été utilisé pour le test d'analyse de la variance (ANOVA) afin de déterminer si les différents systèmes de production ont un effet sur les paramètres floristiques. Lorsque les différences étaient significatives, les moyennes étaient séparées par le test de Duncan au seuil de significativité de 5 %.

### 3. Résultats

#### 3-1. Structure et richesse spécifique des systèmes d'utilisation des terres

La richesse spécifique identifiée est de 46 espèces ligneuses appartenant à 28 genres et 21 familles. Dans l'ensemble des arbres dénombrés, 482 individus, soit 29,32 % sont conservés dans les parcs à *Vitellaria paradoxa*, 479 arbres (29,13 %) se trouvent dans les jardins de case (**Figure 2**).



**Figure 2 :** Richesse spécifique des systèmes d'utilisation des terres

Cette richesse spécifique oscille entre 376 et 307 individus, soient 22,84 % et 18,71 %, respectivement dans les parcs à *Borassus aethiopum* et les champs de brousse. Entre les systèmes d'utilisation des terres, figurent au premier rang les parcs à *Vitellaria paradoxa* avec 482 arbres, suivis des jardins de case qui totalisent 479 individus. Les parcs à *Borassus aethiopum* et les champs de brousse renferment une biodiversité ligneuse non négligeable, soient 22,84% et 18,71 %, successivement (**Figure 3**).





a) -Parc à *Vitellaria paradoxa*



b) - Parc à *Borassus aethiopum*



c)-Jardin de case



d) -Champ de brousse

**Figure 3 : Systèmes d'utilisation des terres**

Les parcs à *Vitellaria paradoxa* sont très prisés par la population locale. *Vitellaria paradoxa* est conservé dans la plupart des systèmes de production agricole [28, 56]. La cueillette des graines mobilise les caractéristiques socioprofessionnelles et le genre. La gente féminine transforme l'amande en beurre de karité et l'utilise dans l'art culinaire, la médecine traditionnelle et en cosmétique [1, 57]. Alors que les hommes s'occupent de la régénération et de l'entretien du spécimen dans les systèmes de production agricole [4, 23]. Concernant le *Borassus aethiopum*, le stipe et les palmes sont exploités par le genre masculin dans la construction des habitats et la confection des nattes, chapeaux, paniers, éventails ou cordes, alors que les femmes s'intéressent plutôt à la commercialisation de ces produits, des fruits et de l'hypocotyle issue de la germination [42, 58]. Toutes les parties de *Borassus aethiopum* sont utilisées par la population.

### 3-2. Diversité spécifique dans la province de Tandjilé-Est

#### 3-2-1. Indice de diversité des systèmes d'utilisation des terres

L'indice de diversité de Hill apprécie mieux la biodiversité d'un milieu, car cet indice regroupe à la fois les indices de Shannon et Simpson [43, 61]. Suivant, les systèmes d'utilisation des terres, cet indice oscille entre 3,82 bits (champ de brousse) pour le site de Kimré et 4,97bits (parc à *Vitellaria paradoxa*) pour celui de N'dam (**Tableau 2**).

**Tableau 2 : Indices de diversité spécifique**

Site	Système de production	Indice de Shannon(bit)	Indice de Simpson (bit)	Indice de Hill (bit)	p-value
Guidari	Jardin de case	3,78	0,97	3,89	0,045 0,607
	Champ de brousse	3,77	0,92	3,83	
	Parc à <i>Vitellaria paradoxa</i>	3,81	0,98	3,88	
	Parc à <i>Borassus aethiopum</i>	3,82	0,96	3,99	
Kimré	Jardin de case	3,74	0,96	3,94	
	Champ de brousse	3,72	0,98	3,82	
	Parc à <i>Vitellaria paradoxa</i>	3,75	0,97	3,89	
	Parc à <i>Borassus aethiopum</i>	3,75	0,97	3,88	
N'dam	Jardin de case	3,83	0,99	3,88	
	Champ de brousse	3,75	0,98	3,86	
	Parc à <i>Vitellaria paradoxa</i>	3,79	0,99	4,09	
	Parc à <i>Borassus aethiopum</i>	3,82	0,96	3,85	

La population de N'dam maîtrise mieux la gestion de la biodiversité que d'autres groupes ethnolinguistiques. La biodiversité joue un rôle important dans la satisfaction des besoins vitaux de cette population [16, 15, 60]. L'analyse de variance indique l'existence d'une différence significative ( $0,045 < 0,05$ ) entre les systèmes d'utilisation des terres. Cette différence n'est pas établie entre les sites, étant donné que l'analyse de variance ne montre pas de disparité ( $0,607 > 0,05$ ) entre les sites. La plus grande valeur de l'indice de Hill dans le parc à *Vitellaria paradoxa* (4,97bits), impliquant une plus faible diversité dans cet agrosystème. Inversement la plus faible valeur (3,82 bits) de la diversité de Hill dans le champ de brousse signifie qu'il y a une plus grande répartition spatiale des individus dans ce paysage agricole.

### 3-2-2. Indice d'équitépartition dans les systèmes d'utilisation des terres

L'indice d'Equitabilité de Piéou d'un écosystème est compris entre 0 et 1 [44, 59]. Suivant les systèmes d'utilisation des terres, l'indice d'Equitabilité varie de 0,021bit dans le jardin de case (site de Kimré) à 0,026 bit (parc à *Vitellaria paradoxa*) pour celui de Guidari. La population de Guidari conserve mieux la biodiversité dans leur système de production. Cependant, l'analyse de variance ne montre pas de distinction ( $0,235 > 0,05$ ) entre les systèmes d'utilisation des terres. Cette distinction n'étant pas statistiquement établie ( $0,245 > 0,05$ ) entre les sites. A l'échelle des sites, cet indice est plus élevé dans les sites de Guidari et N'dam avec des valeurs moyennes oscillant entre 0,031 bit et 0,027 bit (**Tableau 3**).

**Tableau 3 : Indice d'équitépartition de Piéou dans les systèmes d'utilisation des terres**

Site	Système de production	Richesse spécifique	Indice de Simpson (bit)	Equitabilité de Piéou (bit)	p-value
Guidari	Jardin de case	181	3,78	0,003	0,235 0,245
	Champ de brousse	147	3,77	0,037	
	Parc à <i>Vitellaria paradoxa</i>	119	3,81	0,046	
	Parc à <i>Borassus aethiopum</i>	149	3,82	0,038	
Kimré	Jardin de case	205	3,79	0,021	
	Champ de brousse	222	3,74	0,026	
	Parc à <i>Vitellaria paradoxa</i>	176	3,72	0,031	
	Parc à <i>Borassus aethiopum</i>	201	3,75	0,027	
N'dam	Jardin de case	243	3,81	0,023	
	Champ de brousse	160	3,83	0,035	
	Parc à <i>Vitellaria paradoxa</i>	269	3,75	0,024	
	Parc à <i>Borassus aethiopum</i>	224	3,79	0,026	



Par conséquent, l'indice d'Equirépartition est plus faible dans le site de Kimré (0,021bit). Le seuil de l'indice (0,046 bit et 0,038 bit) démontre que les systèmes d'utilisation des terres sont relativement stables [45, 46]. Ce qui prouve que la compétition est assez faible entre les espèces. La faible valeur de l'indice d'Equitabilité dans le site de Kimré résulte du fait que la population défriche de manière sélective des espaces naturelles pour des travaux champêtres.

### 3-3. Stock de carbone dans les systèmes d'utilisation des terres

Le total du stockage de carbone enregistré dans l'ensemble des systèmes d'utilisation des terres est de l'ordre de grandeur équivalent à 110,77tC/ha, avec un gradient plus important dans les parcs à *Vitellaria paradoxa* (29,07 tC/ha), suivi des parcs à *Borassus aethiopum* (Tableau 4).

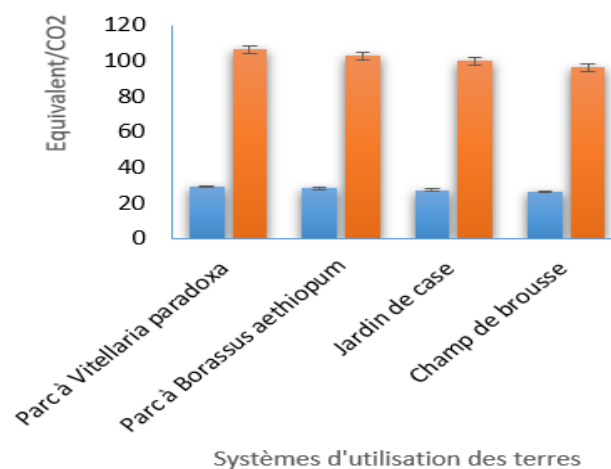
**Tableau 4 :** Carbone dans les systèmes d'utilisation des terres

Systèmes d'utilisation des terres	Hauteur (m)	Biomasse fraîche (t/ha)	Biomasse sèche (t/ha)	Carbone (tC/ha)
Parc à <i>Vitellaria paradoxa</i>	15,75	1251,39	625,71	29,07
Parc à <i>Borassus aethiopum</i>	13,62	1196,91	598,45	28,12
Jardin de case	12,25	1161,86	580,93	27,31
Champ de brousse	10,52	1117,61	558,81	26,27
Total	52,14	4727,77	2363,9	110,77

Les jardins de case et les champs de brousse emmagasinent une quantité de carbone intermédiaire, oscillant entre 27,31 tC/ha et 26,27 tC/ha. Les parcs à *Vitellaria paradoxa* constituent des réservoirs majeurs dans la séquestration de carbone. Ces parcs contribuent de manière efficace et efficiente à l'absorption du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique.

#### 3-3-1. Equivalent dioxyde de carbone dans les systèmes d'utilisation des terres

Le stock de carbone évalué en (tC/ha) a été converti en équivalent CO<sub>2</sub> assimiler par les plantes, en utilisant le ratio 44/12 (3,66) correspondant au quotient CO<sub>2</sub>/C [41, 46]. L'équivalent dioxyde de carbone (Eq CO<sub>2</sub>) est plus important dans les parcs à *Vitellaria paradoxa* (106,39 EqCO<sub>2</sub>). Intervient ensuite, le parc à *Borassus aethiopum* (102,92 EqCO<sub>2</sub>) et le jardin de case avec 99,95 EqCO<sub>2</sub>. Le champ de brousse accumule un équivalent CO<sub>2</sub> inférieur (96,15 EqCO<sub>2</sub>) aux autres systèmes d'utilisation des terres (Figure 4).



**Figure 4 :** Equivalent CO<sub>2</sub> dans les systèmes d'utilisation des terres

Quel que soit, les sites d'étude de la Province de la Tandjilé-Est au Tchad, les parcs à *Vitellaria paradoxa* et à *Borassus aethiopum* disposent des potentiels plus élevés dans l'ingestion du dioxyde de carbone atmosphérique. Ces écosystèmes jouent un rôle considérable en ce qui concerne l'imprégnation de l'équivalent dioxyde de carbone. Ils sont susceptibles de procurer des bénéfices plus onéreux en terme de crédit carbone.

## 4. Discussion

### 4-1. Richesse et diversité spécifique

La richesse ligneuse de la Province de Tandjilé-Est figure parmi les plus riches au Tchad. Cependant, elle est inférieure à la végétation ligneuse de la forêt riveraine du Bénin avec 120 espèces ligneuses et 47 familles [47]. Elle apparaît également faible par rapport à celle dénombrée dans la plantation forestière de Mangombé-Edéa au Cameroun renfermant 97 ligneux, 77 genres et 42 familles [48]. Cette différence serait liée aux activités agrosylvopastorales intenses dont fait face la Province de Tandjilé-Est [46]. Ces activités jouent un rôle essentiel dans la composition et la structuration floristique. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus au Burkina Faso [49]. Ces chercheurs estiment que la flore d'une station (richesse floristique, densité) est considérée comme assez riche, lorsqu'elle compte entre 31 et 40 espèces. Dans la province de Tandjilé-Est, les parcs à *Vitellaria paradoxa* constituent les niches écologiques les plus riches en matière de diversité végétale [46, 28]. Des observations similaires sont rapportées au Mali [50, 61]. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette situation, les parcs à *Vitellaria paradoxa* procurent des biens, des services et génèrent des revenus aux ménages ruraux [4, 59 - 61]. D'une manière générale, les indices de Shannon et de Simpson évoluent dans la même tendance que celui de Hill [2]. Ces résultats sont analogues à ceux obtenus dans la région de Ségou au Mali [51 - 53]. Ces auteurs affirment que la faible valeur de l'Équitabilité de Pielou résulte du fait que la population défriche de manière sélective les systèmes d'utilisation des terres pour des travaux agricoles. Ces résultats témoignent que le sarclage sélectif diminue la densité de la végétation [52, 58]. Alors que la plus forte densité est observée dans les parcs à *Vitellaria paradoxa*.

#### 4-1-1. Stock de carbone et l'équivalent dioxyde de carbone

Les estimations du stock de carbone ont été calculées à partir de l'équation allométrique à un seul prédicteur (hauteur). Cette équation donne des résultats intéressants [38, 41]. Cependant, l'équation allométrique à plusieurs prédicteurs a tendance à surestimer la valeur du stock de carbone [16]. Les systèmes d'utilisation des terres à dominance ligneuse, accumulent plus de carbone que les autres types de végétation [4]. Bien que les populations locales conservent les jardins de case autour d'elles, les parcs à *Vitellaria paradoxa* restent encore le meilleur réservoir du carbone [16]. Les parcs à *Borassus aethiopum* et les champs de brousse accumulent une quantité de carbone considérable [15]. Les résultats obtenus dans cette étude sont plus élevés que ceux enregistrés dans les agroforêts du Kenya [53]. La quantité de carbone captée dans ces agrosystèmes apparaît plus faible à cause de la surexploitation de la biodiversité exercée par la population locale. Ces résultats restent inférieurs aux valeurs obtenues dans les parcs arborés à Karité (*Vitellaria paradoxa*) en zone soudanienne du Nord-Cameroun [54]. Au Mali, le stock de carbone est plus important dans des parcs à *Faidherbia albida*. [55]. Ces auteurs indiquent que cette valeur serait due aux caractéristiques dendrométriques de l'arbre, notamment le dbh et la hauteur qui déterminent l'architecture de l'arbre. Tandis que les travaux réalisés dans le Vélingara au Sud du Sénégal montre que la phytomasse de *Faidherbia albida* emmagasine une quantité de carbone comparable à celle obtenue dans la présente étude [56]. La hauteur des arbres, leur dbh et leur protection, sont autant des facteurs qui expliqueraient ces différents résultats

[16]. Le stock de carbone évalué en (tC/ha) a été converti en équivalent CO<sub>2</sub> incorporé par les plantes lors de la photosynthèse [57, 16]. Les parcs à *Vitellaria paradoxa* possèdent un potentiel élevé de séquestration du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) que les autres systèmes d'utilisation des terres [38, 57]. Les jardins de case, les parcs à *Borassus aethiopum* et les champs de brousse accumulent une quantité du CO<sub>2</sub> considérable [39]. L'équivalent CO<sub>2</sub> absorbé étant proportionnel à la phytomasse. Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec ceux trouvés au Sénégal [58]. Ces systèmes agroforestiers emmagasinent suffisamment du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ils contribuent à la réduction de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

## 5. Conclusion

Au Tchad, les aléas climatiques et la dégradation des terres constituent des menaces environnementales. L'objectif de cette étude est d'évaluer la richesse, la diversité floristique et le stock de carbone des systèmes d'utilisation des terres de la Province de Tandjilé-Est au Tchad. Les sites retenus sont ceux de Guidari, Kimré et N'dam. Le dispositif mis en exergue est celui des placettes quadrangulaires de 50 m x 50 m. L'inventaire floristique réalisé dans les systèmes de production a permis d'identifier 46 espèces ligneuses appartenant à 28 genres et 21 familles. L'indice de diversité de Hill oscille entre 3,82 bits (champ de brousse) pour le site de Kimré et 4,97bits (parc à *Vitellaria paradoxa*) pour celui de N'dam. Tandis que, l'indice d'Equitabilité varie de 0,021bit dans le jardin de case (site de Kimré) à 0,026 bit (parc à *Vitellaria paradoxa*) pour celui de Guidari. Le stock de carbone a été calculé à partir de l'équation allométrique à un seul prédicteur. Le stock carbone et l'équivalent CO<sub>2</sub> évoluent dans la même configuration.

## Références

- [1] - B. ABDOULAYE, A. B. BÉCHIR et P. M. MAPONGMETSEM, Utilités socioéconomiques et culturelles du *Balanites aegyptiaca* (L.) Del (Zygophyllaceae) chez les populations locales de la région du Ouaddaï au Tchad. *Journal of Applied Biosciences*, 111 (2017) 1080 - 1086
- [2] - S. MELOM, E. MBAYGONE, N. RATNAN, A. B. BECHIR et P. M. MAPONGMETSEM, Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya (Afrique Centrale). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 25 (1) (2015) 3799 - 3813
- [3] - CILSS, lutte contre les changements climatiques, les réalisations du CILSS. *Social support health through the life course*, (2016) 42 p.
- [4] - A. DONA, P. M. MAPONGMETSEM, N. D. DONGOCK, N. A. PAMBOUEM, G. FAWA and D. S. AOUDOU, Phytodiversity and carbon stock in Sudanian savannahs zone of Tandjile-East of Chad. *International Journal of Applied Research*, 2 (9) (2016) 455 - 460
- [5] - B. SOUNON, B. SINSIN, S. GOURA, Effet de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin. *Tropicultura*, 25 (4) (2007) 221 - 227
- [6] - E. FAYE, M. DIATTA, A.N.S. SAMBA, J. LEJOLY, Usages et dynamique de la flore ligneuse dans le terroir villageois de Latmingué (Sénégal). *Journal des sciences et technologies*, 7 (2008) 43 - 58
- [7] - B. SAMBOU, T. B. A, C. MBOW, A. GOUDIABY, Studies of the woody vegetation of the welor forest reserve (Senegal) for sustainable use. *West African journal of applied Ecology*, 13 (1) (2008) 10 p.
- [8] - I. GARBA, I. TOURE, A. ICKOWICZ, Evolution historique de la pluviosité ». In système d'information sur le pastoralisme au Sahel. Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel. Fao. *Cirad (ed)*, (2012) 8 - 11

- [9] - N. A. KEMSOL, "Dynamique des cultures de décrue dans les zones lacustres Soudano-Sahéliennes de 1985 à 2015. Cas des lacs Fitri et Iro au Tchad", Thèse de Doctorat, Université Felix-Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, (2018) 178 p.
- [10] - A. M. SCHEFFERS, S. R. SCHEFFERS, Q. H. KELLETAT D. H, the coastline of the world with google Earth : undertaiding our environnement *Coastal Research Library2. Springer. Dordrecht*, (2012) 293 p.
- [11] - C. RAIMOND, D. ZAKINET, R. MUGELE, N.A. KEMSOL, A. MBAGOGO, T. YALI-KUN, B. A. BRAHIM, R. MADJIGOTO, M. SCHUSTER, F. SYLVESTRE, P. DESCHAMPS, Les nouveaux enjeux pour le lac Fitri, entre variabilité environnementale, croissance démographique et conflit d'usage. In : *livre des résumés étendus du colloque International Recherche croisée sur les écosystèmes lacustres tchadiens, Ndjamena, Tchad, 25-27 avril (2017)* 601 p.
- [12] - G. O. ANOLIEFO, B. IKHAJIAGBE, B. OKONOKHUA, B. EDEGBAI, D. C. OBASUYI, Metal tolerant species distribution and richness in and around the metal based industries : possible candidate for phytoremediation. *AJEST*, 11 (2008) 360 - 370
- [13] - P. MARTY, D. ZAKINET, D. KHAMIS, C. BERNARD, ALMY AL AFIA 2, Analyse de l'évolution du Fitri. *Document principal. République du Tchad, programme d'hydraulique pastoral au Tchad central phase 2, Antea-Iram*, (2012) 128 p.
- [14] - A. B. BECHIR, L. Y. MOPATE, Analyse de la dynamique des pâturages autour des ouvrages hydrauliques des zones pastorales du Batha ouest au Tchad. *Afrique SCIENCE*, 11 (1) (2015) 212 - 226
- [15] - F. GUIDAWA, D. ADOUM, D. RODRIGUE, N. NICOLA et P. M. MAPONGMETSEM, Drageonnage de *Ziziphus mauritiana*. Lam (Jujubier) dans les systèmes de production de Gounou-Gaya en zone soudanienne du Tchad. *Afrique SCIENCE*, 22 (3) (2023) 119 - 127
- [16] - A. DONA, G. M. LAMY, B. ANGUSSIN, G. FAWA & P. M. MAPONGMETSEM, Agricultural production systems and climate change ductility enhancement in the Fitri watershed in Chad. *American Journal of Agricultural and Forestry*, 11 (4) (2023) 119 - 127
- [17] - P. POILECOT, E. BOULANODJI, N. TALOUA, B. DJIMET, T. NGUI, J. SINGA, Parc national de Zakouma: structure des peuplements ligneux dans les savanes exploitées par les éléphants. *Bois et Forêts des Tropiques*, 290 (2006) 45 - 59
- [18] - J. Y. JAMIN, C. GOUNEL, C, "Atlas. Agriculture et développement rural des savanes d'Afrique Centrale". Montpellier, France. *Prasac/Cirad*, (2004) 100 p.
- [19] - P. SOUGNABE, "Pastoralisme en quête d'espace en savane tchadienne: des Peuls autour de la forêt classée de Yamba Berté ", Thèse de Doctorat, EHESS-Paris, (2010) 419 p.
- [20] - P. DEJACE, "Ministère de l'Environnement et de l'eau/Commission européenne", (2002) 248 p.
- [21] - P. PFEFFER, L. ARRANZ, P. POILECOT, vingt temps ans après. *Le courrier de Nature*, 234 (2006) 26 - 32
- [22] - I. S. HIGGINGS, M. C. SHACKLETON, R. E. ROBINSON, Changes in woody community structure and composition under contrasting lean use systems in semi-arid Savanna. South Afrique, *Journal of biogeography*, 26 (1999) 2019 - 629
- [23] - I. GARINE, "Nourriture de brousse chez les Muzey et les Masa du Nord-Cameroun Mega. Tchad ", (2002) 13 p.
- [24] - P. JOUVE, "Le diagnostic du milieu rural de la région à la parcelle. Approche systématique des modes d'exploitations agricoles du milieu", CIRAD-CA, Montpellier, (1992) 39 p.
- [25] - J. P. Raison, "Les parcs en Afrique, état des connaissances, perspectives de recherches ", Document de travail, Centre d'Etudes Africaines, EHESS, Paris, (1988) 32 p.
- [26] - S. K. BAWA, G. JOSEPH, S. SETTY, Poverty, biodiversity and institutions in forest-agriculture ecotone in the Western Ghats and Eastern Himalaya ranges of India. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 121 (2007) 287 - 295

- [27] - I. DAN GUIMBO, A. MAHAMANE, J. K. M. AMBOUTA, Peuplement des parcs à *Neocarya macrophylla* (Sabine) et à *Vitellaria paradoxa* (Gaertn cf) dans le Sud-Ouest Nigérien, diversité, structure et régénération. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 4 (5) (2010) 1706 - 1720
- [28] - F. GUIDAWA, B. CLAUDETTE, D. ADOUM, T. ALBERT, N. NICOLA et P. M. MAPONGMETSEM, Caractérisation écologique et morphologique de *Adansonia digitata*.L (Baobab) en zone soudano-sahélienne du Cameroun. *Afrique SCIENCE*, 18 (2) (2021) 27 - 41
- [29] - P. HAKIZIMANA, M. J. BIGENAKO, B. HABONIMANA, J. LEJOLY, J. BOGAERT, Inventaire floristique et identification de quelques éléments d'un plan d'aménagement de la forêt ombrophile de Mpotza au Burundi. (Eds). *Systématique et conservation des plantes Africaines*, (2010) 653 - 661
- [30] - D. NGOM, "Diversité végétale et quantification des services écosystémiques de biosphère du Ferlo (Nord-Sénégal)", Thèse, ED-SEV/UCAD, (2013) 167 p.
- [31] - N. PICARD, "Méthode d'inventaire forestier. Projet de développement rural participatif dans le moyen Atlas central", Projet Khénifra, UPR Dynamique forestière, CIRAD, (2006) 42 p.
- [32] - B. SCHERRER, "Biostatistique", Volume 1, 2<sup>ème</sup> édition, Guëtan Morin (éditeur), Montréal, (2007) 816 p.
- [33] - J. J. FARAWAY, "Linear models with", Chapman and hall/CRC, (2004) 240 p.
- [34] - P. DAGNELIE, "Statistique théorique et appliquée", Gembloux, Belgique, De Boeck, (2006) 451 p.
- [35] - L. JOST, "Entropy and diversity", *Oikos*, 113 (2006) 363 - 375
- [36] - H. NICHOLLS, "The conservation business", *plosbiology*, 2 (2004) 1256 - 1259
- [37] - J. GRALL, C. HILY, Traitement des données stationnelles de la biodiversité, (2003) 5 p.
- [38] - C. MBOW, M. VERSTRAETE and S. NEUFELDT, Allometric models for aboveground biomass in dry savanna trees of the Sudan and Sudan-Guinean ecosystems of southern Senegal, (2014) 340 - 347
- [39] - GIEC, "Bilan des changements climatiques, mesures d'atténuation. Rapport du groupe de travail III du GIEC", Cambridge, University Press, Cambridge, UK, (2001) 93 p.
- [40] - GIEC, "Bilan des Changements Climatiques", Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat Equipe de Rédaction Principale, Pachauri R.K et Reisinger A, Genève. Suisse, (2007) 103 p.
- [41] - H. KELLEY & A. GOLDSTEIN, Raising Ambition State of the Voluntary Carbon Markets, (2016) 16 p.
- [42] - D. DIOP, "Contribution à l'étude biosystématique des espèces du genre *Ficus* au Sénégal", Thèse du 3<sup>ème</sup> cycle de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD. Dakar, Sénégal, (2006) 194 p.
- [43] - L. E. AKPO, M. GROUZIS, F. BADA, C. F. PONTAANIER, Effet du couvert ligneux sur la structure de la végétation herbacée de jachère soudanienne. *Note originale. Sècheresse*, 10 (4) (1999) 253 - 256
- [44] - B. J. WILSEY, D. R. CHALCRAFT, C. M. BOWLES, M. R. WILLIG, Relations among indices suggest that richness in an incomplete surrogate for grassland biodiversity. *Ecology*, 86 (5) (2005) 1178 - 1184
- [45] - R. BARBAULT, "Ecologie générale, Structure et fonctionnement de la biosphère", 4<sup>e</sup> édition, Paris, (1997) 286 p.
- [46] - A. DONA, "Saviers endogènes, gestion de la biodiversité végétale et des stocks de carbone dans les systèmes d'utilisation des terres de la région de Tandjilé-Est au Tchad", Thèse de Doctorat/P.h. D. Université de Ngaoundéré, Cameroun, (2018) 156 p.
- [47] - A. AKOEGNINO, "Recherches botaniques et écologiques sur les forêts naturelles du Bénin (Afrique de l'Ouest)", Thèse d'État, Université de COCODY-ABIDJAN, (2004) 314 p.
- [48] - J. R. NGUEGUIM, L. ZAPFACK, E. YOUMBI, B. RIERA, J. ONANA, B. FOAHOM, J. G. MAKOMBU, Diversité floristique sous canopée en plantation forestière de Mangombe-Edéa, Cameroun. *Biotechnology Agronomy Sociology Environment*, 14 (1) (2010) 167 - 176
- [49] - P. DAGET, "La biodiversité stationnelle et régionale, Retour sur les concepts et les mesures". In : la biodiversité végétale, des plantes pour l'avenir", Actes du colloque de Troyes, (2006) 13 - 15

- [50] - K. TRAORÉ, R. GANNY, J. OLIVER, J. GIGOU, Litter production and soil fertility in *Vitellaria paradoxa* parkland in a catena in southern Mali, *Arid Land Res. Manag*, 18 (4) (2004) 359 - 368
- [51] - C. ROUXEL, J. BARBIER, A. NIANG, B. KAYA, N. SIDIBET, Biodiversité spécifique ligneuse et terroirs: quelle relation? Le cas de trois villages de la région de Ségou (Mali). *Bois et Forêt des Tropiques*, 283 (2005) 33 - 49
- [52] - A. DIALLO, "Caractérisation de la végétation et des sols dans les plantations d'Acacia senegal (L) Willd dans la zone de Dahra-Sud Ferlo sableux ", Thèse de Doctorat, UCAD-FST, Département de Biologie Végétale, (2011) 127 p.
- [53] - C. A. PALM, P. L. WOOPER, J. ALEGRE, L. AREVALO, D. G. CASTILLO, B. FEIGL, K. HAIRIAH, J. KOTTO-SAME, A. MENDES, A. MOUKAM, D. MURDIYARSO, R. NJOMGANG, W. PARTON, A. RIESE, V. RODRIGUES, S. M. SITOMPUL & M. VAN NOORDWIJK, Carbon sequestration and trace gas emissions inslah-and-brun alternatives land-uses in the humid tropics. *Final Report. Alternatives to slash and Burn (ABS). Climate change working Group, Phase II ICRAF. Nairobi Kenya*, (2000) 29 p.
- [54] - D. FRIEDEN, M. HENRY, V. MORILLON, N. NIEULLET, F. NJITIC, R. PELTIER, Évaluation du stock de carbone et la production en bois d'un parc arboré à karité en zone Soudanienne du Nord-Cameroun, Montpellier, France. *Engref-frt/Prasac/Irad/Cirad*, (2005) 39 p.
- [55] - A. TAKIMOTO, D. V. NAIR, P. K. R. NAIR, Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry system in West African Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125 (2008) 159 - 166
- [56] - S. LIU, M. KAIRÉ, E. WOOD, O. DIALLO, L. TRESGEN, Impact of land use and climate change on carbone dynamic in south-Central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59 (2004) 583 - 604
- [57] - N. CHANCEYAMBAYE, A. IBRAHIM, S. GOY et T. N. FIDELE, Caractérisation des peuplements et la phytomasse du parc national de Manda dans la région du Moyen-Chari, Tchad. *Afrique SCIENCE*, 12 (6) (2016) 1 - 13
- [58] - B. THIOYE, "Amélioration de la croissance et de la population fruitière de *Ziziphus mauritiana* Lam. par l'inoculation mycorhizienne dans deux vergers au Sénégal ", Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, (2017) 261 p.
- [59] - M. A. A. DIÉDHIOU, F. FAYE, D. NGOM, M. A. TOURE, Identification et caractérisation floristique des parcs agroforestiers du terroir insulaire de Mar Fafaaco (Fatick, Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, 79 (2014) 6855 - 6866
- [60] - S. DOUMA, C. RABI, A. MAHAMANE, M. KOINI, K. K. CHARLES, M. SAADOU, Caractéristiques écologiques des populations de quatre ligneux fruitiers des parcs agroforestiers de la zone déclassée de la Réserve Totale de faune de Tamou (Niger). *Les Cahiers de l'Economie Rurale*, (11) (2009) 47 - 59
- [61] - K. DIMOBE, "Dynamique, sequestration de carbone et modèles de variation des savanes soudanienne du Burkina Faso et du Ghana (Afrique de l'Ouest) ", Thèse de Doctorat, Laboratoire Biologie/Ecologie Végétale, Université de OUAGA I Pr. Joseph Ki-ZERBO, Ouagadougou, (2017) 179 p.