

Université Assane SECK de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers

(AGDEFA)

Sujet :

Caractérisation de la végétation ligneuse et évaluation de son potentiel de séquestration du carbone dans des espaces cultureux des communes de Kael et Kahone, Sénégal

Présenté par

Mariétou THIOMBANE

Sous la Supervision de **Pr. Daouda NGOM**, Maîtres de conférences (UCAD)

Encadreurs : **Dr Ismaïla COLY**, Maître-Assistant (UASZ)

Dr Tamsir MBAYE, Chargé de recherches (CNR/ISRA)

Soutenu publiquement le 04 juillet 2020 devant le jury composé de :

Président:	M. Mohamed. M. CHARAHABIL	Maître de conférences	UFR-ST / UASZ
Membres:	M. Ismaïla COLY	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
	M. Tamsir MBAYE	Chargé de Recherches	CNR/ISRA Dakar
	M. Ngor NDOUR	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
	M. Joseph Saturnin DIEME	Assistant	UFR-ST / UASZ

Année Universitaire : 2019 / 2020

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

Mon défunt père Alioune THIOMBANE, que Dieu l'accueille dans son Paradis Eternel;

Ma mère Aminata Séne ;

Mes frères (particulièrement à Moussa Diop) et sœurs ;

Toute ma famille ;

Mon époux ;

Toutes mes amies et amis ;

Aux étudiants d'Agroforesterie;

Tous ceux qui m'ont aidé et encouragé.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, louange à ALLAH, le Tout Puissant, le Miséricordieux qui m'a guidé sur le droit chemin et m'a donné la santé et le courage qui m'ont permis d'accomplir ce travail. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait jamais abouti, paix et salut sur notre bien aimé prophète Mouhammad.

Je remercie toute ma famille pour leur soutien sans faille.

Au terme de ce mémoire, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce document.

Tous mes remerciements au Dr Tamsir MBAYE, Chercheur en foresterie/agroforesterie à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) et au Pôle Pastoralisme et Zones Sèches (PPZS), pour avoir accepté de diriger ce travail et de m'accueillir comme stagiaire. Qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour sa confiance, ses encouragements et les efforts consentis. A travers lui, je remercie l'ensemble du personnel de l'ISRA, particulièrement du CNRF.

J'exprime également ma gratitude à mon encadreur et répondant à l'université, Dr Ismaila COLY, Enseignant-chercheur au département d'Agroforesterie de l'Université Assane SECK de Ziguinchor. Il m'a fait un grand honneur en acceptant malgré ses multiples occupations de suivre ce travail. Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des Enseignant-chercheurs du département d'Agroforesterie: Pr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Pr Djibril SANE, Dr Ngor NDOUR, Dr Ousmane NDIAYE, Dr Siré Diédhiou, Dr Antoine SAMBOU, Dr Djibril SARR, Dr Aly DIALLO, Dr Satunin DIEME et Dr Boubacar CAMARA pour la qualité de la formation, leur courtoisie et leur disponibilité.

Je remercie aussi tous les nouveaux docteurs et doctorants pour leurs conseils et leur disponibilité.

Je tiens aussi à remercier Babacar NDIAYE, Baba Ansoumana CAMARA, Dominique NDOUYE, Marcel BADJI d'avoir contribué à l'amélioration de ce mémoire mais aussi Monsieur Yaya DIATTA pour sa disponibilité, ses conseils, ses encouragements.

Je tiens aussi à remercier la famille SAGNA plus particulièrement Bijou CISSE pour m'avoir chaleureusement accueilli et mise dans de très bonnes conditions. Mes remerciements vont aussi à l'endroit de Moussa Diop pour m'avoir accompagné tout au long de mes études.

Je ne saurais oublier mes collègues stagiaires avec qui j'ai passé d'agréables moments.

Je remercie profondément mon époux Pape Eulie SEMBENE pour son soutien, sa compréhension et ses encouragements.

TABLE DE MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	v
LISTE DES FIGURES	vi
RESUME	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1 Généralités sur la végétation	3
1.1.1 Définition de la végétation	3
1.1.2 Structure des peuplements végétaux	3
1.1.3 Importance de la végétation	3
1.1.3.1 Importance socio-économique de la végétation ligneuse	3
1.1.3.2 Importance écologique de la végétation ligneuse	4
1.2 Les formations végétales dans le Bassin arachidier et leur dynamique	4
1.2.1 Facteurs de dégradation des peuplements ligneux dans le Bassin arachidier	5
1.2.1.1 Facteurs anthropiques	5
1.2.1.2 Facteurs naturels	5
1.3 Végétation ligneuse et séquestration de carbone	6
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	9
2.1 Présentation des zones d'étude	9
2.1.1 Situation géographique et administrative	9
2.1.2 Le climat	10
2.1.3 Caractéristiques pédo-morphologiques	13
2.1.4 Caractéristiques de la végétation	13
2.1.4 Activités socioéconomiques	14
2.2 Méthodes utilisées	14
2.2.1 Relevés de végétation ligneuse	14
2.2.3 Traitement des données	15
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	20
3.1 Résultats	20
3.1.1 Analyse floristique du peuplement	20
3.1.1.1 composition floristique	20

3.1.1.2	Analyse fréquentielle des espèces ligneuse à Kahone (a) et à Kael (b)	21
3.1.1.3	Abondance relative des espèces ligneuses de Kael et de Kahone	22
3.1.2	Paramètres structuraux de la végétation ligneuse	23
3.1.2.1	densité	23
3.1.2.2	Surface terrière	24
3.1.2.3	Recouvrement aérien	24
3.1.2.4	Diversité spécifique de la végétation ligneuse	25
3.1.2.4	Structure du peuplement ligneux (individus de Diam > 3,5 cm)	25
3.1.2.4.1	Distribution des individus par classe de diamètre	25
3.1.2.4.2	Distribution des individus par classes de hauteur	26
3.1.3	L'effet anthropique sur la végétation dans les communes de Kahone et de Kael	27
3.1.4	Régénération du peuplement ligneux	27
3.1.5	Biomasse produite et carbone séquestré par les ligneux	28
3.1.5.1	Biomasse ligneuse produite et carbone séquestré suivant les localités	28
3.1.5.3	Stock de carbone de la biomasse aérienne du peuplement ligneux suivant les espèces et les localités	29
3.2.	Discussion	31
3.2.1	Composition floristique du peuplement ligneux	31
3.2.2	Paramètres structuraux de la végétation	32
3.2.3	Taux de régénération	33
3.2.4	Anthropisation du peuplement ligneux	33
3.2.5	Stock de carbone dans la biomasse aérienne des ligneux	34
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	35
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

ANOVA : Analyze of Variance

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

BAD : Banque Africaine de Développement

CEDEAO : Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest

cm : Centimètre

°C : Degré Celsius

CNRF : Centre National de Recherches Forestières

CO₂ : dioxyde de carbone

DEFSE : Direction de l'Environnement Forestier Service de l'évaluation Environnementale

CE : Commission Européenne

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (ou IPCC pour *Intergovernmental Panel on Climate Change*)

GPS : Global Positioning System (Système de Positionnement Global)

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

MDK : Mastering Developing Knowledge

MEPN : Ministère de l'Environnement et de le Protection de la Nature

PAFR : Plan d'Action Forestier Régional

PAPSEN : Programme d'Appui au Programme National d'Investissement dans l'Agriculture au Sénégal

PRDI : Plan Régional de Développement Intègre

SRSD : Service Régional de la Statistique et de la Démographie

UASZ : Université Assane SECK de Ziguinchor

UNECE : United Nations Economic Commission for Europe

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la commune de Kael.....	9
Figure 2: Carte de localisation de la commune de Kahone.....	10
Figure 3: Tendence des moyennes pluviométriques de 1988 à 2018 de la station de Kaolack (source de données ANACIM, 2019).....	11
Figure 4: Diagramme ombrothermique de la station de Kaolack pour la série des pluviométries et moyennes de 1988 à 2018 (Source de données ANACIM, 2019)	11
Figure 5: Tendence des moyennes pluviométriques de 1988 à 2018 de la station de Kaolack (source de données ANACIM, 2019).....	12
Figure 6: Diagramme ombrothermique de la station de Diourbel de 1988 à 2018 (Source de données ANACIM, 2019)	13
Figure 7: Installation de la placette (a) et mesures dendrométriques (b)	15
Figure 8: Fréquence centésimale (%) des espèces ligneuses à Kahone (a) et à Kael (b).....	22
Figure 9: Densité observée des espèces ligneuses à Kahone (a) et à Kael (b).....	24
Figure 10: Recouvrement aérien des espèces à Kahone (a) et à Kael (b)	25
Figure 11: Répartition des individus de la végétation ligneuse par classes de diamètre à Kahone (a) et à Kael (b)	26
Figure 12: Structure verticale des espèces ligneuses des communes de Kahone (a) et de Kael (b)	26
Figure 13: Le degré d'anthropisation de la végétation dans les communes de Kahone et de Kael	27
Figure 14: Variation du stock de carbone suivant les familles à Kahone (a) et à Kael (b).....	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification botanique et liste des espèces présentes dans les communes de Kahone et de Kael.	20
Tableau 2: Abondance relative des espèces inventoriées dans les communes de Kahone et Kael	22
Tableau 3: Paramètres structuraux de la végétation ligneuse à Kahone et à Kael.....	23
Tableau 4: Variation de l'indice spécifique de régénération et du taux de régénération du peuplement suivant les localités	28
Tableau 5: Variation de la biomasse ligneuse produite et le carbone séquestré suivant les localités.....	29
Tableau 6: Variation du stock de carbone suivant les espèces à Kahone et à Kael	30

RESUME

La végétation ligneuse joue un rôle très important dans l'environnement, notamment la séquestration du carbone, la création d'un microclimat favorable aux cultures, la lutte contre l'érosion et la fourniture du combustible. Cependant, ces formations naturelles si importantes subissent une dégradation du fait de l'action de l'homme et des aléas climatiques. C'est dans ce contexte que cette étude se propose de caractériser la végétation ligneuse et d'évaluer son stock de carbone dans des espaces culturels des communes de Kael et de Kahone devant abriter des centrales solaires de la SENELEC. Pour ce faire, un inventaire des ligneux dans 28 placettes carrées de 2500 m² dont 16 à Kahone et 12 à Kael a été effectué. La flore de la végétation ligneuse des deux communes est riche de 25 espèces appartenant à 22 genres et 12 familles botaniques. Toutes les 25 espèces sont recensées dans la commune de Kahone contre seulement 6 espèces dans la commune de Kael. Les familles les plus représentées sont les Fabaceae (40%) avec 10 espèces et les Combretaceae (16%) avec 04 espèces. La surface terrière, le recouvrement et la densité des ligneux sont plus importants à Kahone avec respectivement 1,12 m²/ha, 1535,78 m²/ha et 23,5 individus/ha. A Kael ces paramètres présentent des valeurs respectives de 0,37 m²/ha, 386,58 m²/ha et 15,33 individus /ha. La structure verticale du peuplement révèle une prédominance des individus de diamètre appartenant au classe [0-2[avec 68,18 et 56,52% des individus respectivement à Kahone et Kael. Le taux de régénération des ligneux est de 96,56% dans la commune de Kahone et de 95,16% dans celle de Kael. La quantité de carbone séquestrée par les ligneux est plus élevée à Kahone (5,70±10,14 Kg C/ha) qu'à Kael (1,53±3,52 kg C/ha). Ces résultats permettront aux populations de ces localités de mieux apprécier l'impact des centrales solaires et, par conséquent, mieux négocier les mesures compensatoires à intégrer dans le plan de gestion environnementale et sociale.

Mots clés: caractérisation, végétation ligneuse, séquestration carbone, Kael, Kahone.

ABSTRACT

Woody vegetation plays a very important role in the environment, including carbon sequestration, the creation of a favourable microclimate for crops, erosion control and fuel supply. However, these important natural formations are being degraded by human activities and climatic hazards. It is in this context that this study proposes to characterize the woody vegetation and to evaluate its carbon stock in cultural areas of the communes of Kael and Kahone. For this purpose, an inventory of woody vegetation in 28 square plots including 16 in Kahone and 12 in Kael was carried out. These plots have a size of 2500 m² each. The flora of the woody vegetation of the two communes is rich with 25 species belonging to 22 genera and 12 botanical families. All 25 species are recorded in the commune of Kahone against only 6 species in the commune of Kael. The most represented families are: the Fabaceae family (40%) with 10 species, followed by the Combretaceae (16%) with 04 species. The basal area, cover and density of woody plants are greater in Kahone with respectively 1.12 m²/ha, 1535.78 m²/ha and 23.5 individuals/ha. At Kael, these parameters have respective values of 0.37 m²/ha, 386.58 m²/ha and 15.33 individuals/ha. The vertical structure of the stand reveals a predominance of individuals less than 2m in diameter with 68.18 and 56.52% of individuals respectively in Kahone and Kael. The regeneration rate of woody trees is 96.56% in Kahone commune and 95.16% in Kael commune. The amount of carbon sequestered by the woody trees is higher in Kahone (5.70±10.14 Kg C/ha) than in Kael (1.53±3.52 Kg C/ha). These results will enable the populations of these localities but also development stakeholders to have the data required for a more rational management of these plant formations.

Keywords: characterization, woody vegetation, carbon sequestration, Kael, Kahone, woody vegetation.

INTRODUCTION

La végétation ligneuse joue un rôle très important dans l'environnement, car elle contribue au cycle biogéochimique des systèmes de production en apportant de la biomasse et/ou de la nécromasse mais aussi permet la création d'un microclimat favorable aux cultures. Elle joue également un rôle protecteur contre les érosions hydriques et éoliennes (Breman et Kessler, 1995 ; FAO, 2018). Partout dans le monde, les ligneux sont utilisés comme combustible. Cette exploitation varie d'une région à l'autre. Elle est de 90% en Afrique et de plus de 60% en Asie. Quarante pour cent (40 %) des combustibles ligneux produits dans le monde sont consommés en Asie, 36 % en Afrique, 17 % en Amérique et 8 % en Europe (FAO, 2017). En Afrique, l'arbre est privilégié par le paysan car il joue de multiples fonctions : sociales, économiques, alimentaires, médicinales et écologiques (Cathla, 2000). En Afrique soudano-sahélienne près de 90% du bois d'énergie fourni à la population (rurale et urbain) vient des formations végétales (Kaboré, 2001 ; Mbaye, 2010). Cependant, ces formations naturelles si importantes subissent une dégradation du fait de l'action de l'homme en partie (Tremblay et *al.*, 2002 ; Dessey ; 2006, Mbaye et *al.*, 2015). En effet, les perturbations écologiques d'origine anthropique ont des impacts négatifs sur la structure des formations ligneuses et sur leurs potentiels de séquestration du carbone (Kombate et *al.*, 2019). Ainsi, les projets d'infrastructures de tout ordre entraînent des défrichements et autres déboisements à l'image des centrales solaires de Kahone et de Kael. Aussi, dans le Bassin arachidier du Sénégal, on note une surexploitation des ressources due aux coupes incontrôlées des ligneux pour le bois de chauffe et le charbon de bois et surtout l'extension des terres destinées aux cultures (Badji et *al.*, 2014). Cette dégradation liée à l'action anthropique est accentuée par les facteurs naturels tel que l'aridité du climat qui est devenue un phénomène préoccupant en zone soudanienne (Thiombiano et *al.*, 2005 ; Ndiaye et *al.*, 2012). Aujourd'hui, du fait de l'action conjugué de ces deux facteurs, on note au Sénégal une évolution régressive des superficies végétales. Ces superficies qui étaient de 9 203 153 ha en 1990 sont passées à 8 558 153 ha en 2005, soit environ une baisse de 7 % (MEPN, 2010).

Durant ces dix dernières années, on note une évolution rapide de la dégradation des écosystèmes, ce qui pose le problème de la satisfaction des besoins des générations futures (Akindélé, 2000 ; Mandal et *al.*, 2013). Par ailleurs, les changements climatiques sont devenus un phénomène général mondialement ressentis. En effet, d'après le GIEC (2014), les activités humaines vont entraîner une augmentation du CO₂ dans l'atmosphère d'ici 2100 avec comme corollaire une augmentation de la température terrestre de 1,5 à 4,5 °C. Au vue de cette situation, une

évaluation de l'état actuel de ces formations ligneuses et de leur contribution à l'atténuation des conséquences du changement climatique à travers la séquestration du carbone s'avère nécessaire ; en vue d'asseoir les bases d'une gestion durable des ressources naturelles comme le stipule le rapport Brundtland (1987). C'est ainsi que le Sénégal a élaboré différentes stratégies pour la préservation de l'état des ressources de l'environnement (MEPN, 1997), surtout en cas d'activités devant nécessiter un déboisement comme le stipule les dispositions réglementaires du Code de l'environnement (2001). C'est dans ce contexte que cette étude s'est fixé comme objectif général de contribuer à une meilleure connaissance de l'état et du potentiel de séquestration du carbone de la végétation ligneuse des sites devant abriter les futures centrales solaires de la SENELEC, à Kahone et Kael. Spécifiquement, il s'agit :

- d'évaluer les caractéristiques floristiques de la végétation ligneuse des sites de Kahone et de Kael ;
- de déterminer les caractéristiques structurales de la végétation ligneuse du peuplement de ces espaces ;
- et d'évaluer leur potentiel de séquestration du carbone.

L'étude s'articule autour de trois chapitres, le premier s'intéresse à la synthèse bibliographique, le deuxième au matériel et méthodes utilisés et le troisième présente les résultats et leur discussion.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Généralités sur la végétation

1.1.1 Définition de la végétation

La définition d'une végétation repose sur des critères d'ordre physionomique (structure verticale et horizontale, phénologie, etc.), affinés par la prise en compte de données floristiques (Da Lage et Métailié, 2000 cité par Guillaumet et *al.*, 2009). Le terme végétal est entendu ici au sens phylogénétique des organismes chlorophylliens issus de la lignée verte. Ce terme générique comprend les algues vertes d'une part et les plantes d'autre part (Judd et *al.*, 2015).

1.1.2 Structure des peuplements végétaux

La structure des peuplements végétaux peut être définie comme étant la combinaison de leurs caractéristiques telles que : le type de distribution des arbres, la densité des peuplements, leur stratification verticale, la diversité spécifique et les formes de mélange ou agrégation des individus (Spellmann, 1995 cité par Schütz, 1997). L'espace qu'occupe un peuplement végétal concerne l'utilisation horizontale et verticale de l'espace par les arbres qui composent le peuplement (Goreaud, 2000 ; Anne et *al.*, 1992). Plusieurs études ont été faites sur la structure de la population végétale et les données sont utilisées depuis longtemps par les forestiers et les écologues pour étudier la dynamique de la régénération des essences forestières (peters, 1997).

1.1.3 Importance de la végétation

La végétation joue un rôle crucial dans de nombreux processus du système terrestre, y compris le cycle du carbone, de l'eau, et la régulation du climat. De plus, les plantes fournissent aux humains une large gamme de biens et services importants (Gamon, 2019).

La végétation joue un rôle capital dans le maintien de l'équilibre écologique et améliore les conditions d'existence des populations. Si l'on veut développer et accroître ce rôle, il faut analyser et comprendre la fonction et la place des arbres et arbustes dans le paysage rural (FAO, 1992). La végétation ligneuse est utile pour la survie des populations des zones arides. Elle est vitale pour l'homme. Les botanistes ont décrit 350 000 espèces végétales parmi lesquelles 3000 donnent des produits utiles à l'homme (FAO, 1992).

1.1.3.1 Importance socio-économique de la végétation ligneuse

Les arbres hors forêt, tel que les arbres des vergers, des jardins, des campagnes des villes, des savanes, des pâturages, le long des routes des cours d'eau et des parcs agroforestiers, nous procurent des produits ligneux et non ligneux qui sont indispensables à la subsistance

quotidienne des populations. Ils participent à l'économie locale et nationale mais également à la conservation de la diversité biologique (FAO, 2001). Les ressources végétales jouent un rôle essentiel dans l'économie rurale ; elles contribuent à l'apport de protéines, de minéraux et de vitamines indispensables à l'équilibre alimentaire des hommes et des animaux. Elles fournissent divers autres services tels l'énergie domestique, le bois de service, les plantes médicinales,... Elles contribuent aussi, à l'accroissement de la productivité des terres et au maintien de l'équilibre des écosystèmes (Ngom, 2013).

1.1.3.2 Importance écologique de la végétation ligneuse

La végétation a le potentiel de contribuer substantiellement aux stratégies d'adaptation et d'atténuation des effets du changement climatique à travers la séquestration de carbone entre autres. Les plantes ont la capacité de stocker le carbone dans leurs tissus via la photosynthèse (Singh, 2007). Elles interviennent également dans la régulation de plusieurs processus écologiques tel que les cycles biogéochimiques (carbone, azote, phosphore, hydrogène...), la composition et la régulation de l'atmosphère et des océans. Elles participent aussi au cycle de l'eau mais aussi à la composition et la stabilisation des sols (Suty, 2015 ; Sultan, 2015). Grâce à la photosynthèse, les végétaux, contrairement aux animaux, peuvent produire directement de l'énergie grâce à la matière inorganique et d'énergie lumineuse. Les végétaux sont ainsi à la base des chaînes trophiques et alimentaires en tant que producteurs primaires de l'énergie et de la biomasse (Quentin, 2018).

1.2 Les formations végétales dans le Bassin arachidier et leur dynamique

Les études menées sur la végétation dans la zone du bassin arachidier ont montré que le Bassin arachidier qui avait une végétation assez dense et diversifiée (Séne, 2004), connaît aujourd'hui une dégradation et une perte de diversité floristique (Lericollais, 1989 ; Sadio et *al.*, 2000 ; Diouf et *al.*, 2000). En effet, les espèces telles que *Pterocarpus erinaceus* et *Khaya senegalensis* rencontrées le plus souvent dans le Bassin arachidier se retrouvent le plus souvent aujourd'hui au sud du pays (Sadio et *al.*, 2000). L'agriculture (particulièrement la culture de l'arachide, du mil et du maïs), qui est l'activité dominante dans le Bassin arachidier mais également la forte densité de la population (50 à 140 habitants/km²) ont bouleversé l'état des formations végétales de la zone en leur donnant l'aspect de savane caractérisé au nord par des parcs à *Acacia*, au centre par des parcs à *Borassus*, à l'Ouest par des parcs à *Adansonia* et au Sud et à l'Est par des parcs à *Cordyla pinnata* et *Sterculia setigera* (EC-FAO, 2000). D'après Sadio et *al.* (2000), le centre Nord du Bassin arachidier avait une formation végétale naturelle diversifiée et assez dense jusqu'au début des années 60.

Les actions anthropiques sont responsables des changements les plus rapides des communautés végétales, même si le facteur climatique est le plus déterminant dans la distribution des espèces (Tremblay et *al.*, 2002). En effet, il y a une forte diminution des boisements du fait de l'augmentation massive des superficies emblavées, de l'intensification des prélèvements des produits de cueillette, du bois et de la pression sur des ressources pastorales (Badji et *al.*, 2014).

1.2.1 Facteurs de dégradation des peuplements ligneux dans le Bassin arachidier

En Afrique de l'ouest on note une dégradation progressive du couvert végétal qui est en partie due à l'agriculture, à l'accroissement démographique et aux facteurs climatiques (Bamba et *al.*, 2010). Les facteurs responsables de la dégradation du couvert végétal dans le Bassin arachidier sont : les facteurs naturels et les facteurs anthropiques.

1.2.1.1 Facteurs anthropiques

Les savanes d'Afrique suivent des processus rapides de transformation des paysages ruraux mais également elles connaissent une dégradation de leurs ressources naturelles (Mama et *al.*, 2013). Les pays de la CEDEAO dépendent en moyenne entre 70 et 80% des ressources forestières pour le bois de chauffe. Cette exploitation du bois fait partie des causes de la dégradation des ressources forestières surtout associées aux défrichements agricoles et aux feux de brousse (CEDEAO, 2015). Les combustibles provenant des ligneux représentent plus de 60 % du bilan énergétique et plus de 80 % de la consommation énergétique totale des ménages au Sénégal et la production du charbon de bois a fortement augmentée entre 2010 et 2011 en passant respectivement de 57947 tonnes à 74749 tonnes (MEPN, 2014).

Les pratiques agricoles également ont des effets négatifs sur l'évolution de la végétation. En effet, le labour profond avec les équipements agricoles lourds provoque l'enlèvement du sol et la mise à nu de la roche compacte (Plit, 1983). Le labour des champs selon les courbes de niveau qui contribue à l'atténuation de l'érosion reste jusqu'à présent rare dans de nombreuses régions. L'extension des zones de culture s'est souvent faite au détriment des superficies boisées, et parfois même des forêts classées et des réserves naturelles. Ce qui a comme conséquence, la perte des ressources forestières qui s'amenuisent de plus en plus sous l'effet de maintes pratiques destructives. Cela conduisant à la réduction de la diversité et de la densité des espèces végétales ligneuses (MEPN, 2014).

1.2.1.2 Facteurs naturels

La sécheresse a des conséquences directes sur la végétation. Ainsi, elle peut affecter sa densité, sa hauteur, ainsi que sa composition floristique. Mais la quantité de pluie tombée est moins

significative que la notion de "pluie utile". Le tapis herbacé qui forme les pâturages se reconstitue chaque année à l'occasion de la saison des pluies. Le déficit pluviométrique et la mauvaise distribution des pluies provoquent un raccourcissement du cycle de vie de la plante, une diminution de la taille des plantes et de la productivité totale (Ndong, 1995). Par ailleurs, l'érosion active par ruissellement est aussi une cause de dégradation de la couverture végétale. En bordure des microfalaises, les zones boisées accessibles aux eaux voient leur végétation menacée par le ravinement qui met à nu les racines, gêne leur alimentation en eau ou les déséquilibre (Sène, 2010).

1.3 Végétation ligneuse et séquestration de carbone

Les écosystèmes terrestres fournissent à l'humanité des bénéfices très diversifiés connus sous l'appellation de «biens et services écosystémiques» (Darwin, 2009). Les végétaux nous procurent de multiples services (produits ligneux et non ligneux) (FAO/UNECE, 2013). Ainsi, à travers les services de régulation, les végétaux contribuent à la régulation du climat. Ils permettent la réduction des GES dans l'atmosphère. En effet, ils absorbent, à travers la photosynthèse, le dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère et rejettent de l'oxygène. La photosynthèse permet la production de la matière organique constitutive des plantes (UICN, 2014). Le carbone séquestré par la plante est stocké dans la biomasse aérienne (bois, feuilles et les déchets) et dans la biomasse souterraine (racines) ainsi que dans les sols (carbone organique du sol) (GIEC, 2007). Le CO_2 est un des gaz à effet de serre qui participe actuellement au réchauffement de la planète. Le carbone, fait l'objet de nombreux échanges entre les divers constituants terrestres, atmosphériques et océaniques qui forment le cycle global du carbone (DEFSE, 1996). C'est à travers cette séquestration de carbone que les végétaux contribuent à la régulation du climat. En effet, au cours de la photosynthèse, les plantes absorbent du CO_2 atmosphérique qui sera ensuite stocké sous forme de carbone organique dans leurs organismes permettant ainsi la croissance des végétaux (Nibéron, 2016). Cependant, le taux d'accroissement du CO_2 atmosphérique augmente continuellement en raison de nombreuses actions anthropiques, y compris la combustion de combustibles fossiles, la déforestation, les incendies de forêt, les automobiles, etc. (Carvalho et al., 2019). Aujourd'hui, la déforestation provoque des émissions de CO_2 , de 1,1 Gt C par an, contribuant ainsi à une augmentation de 25 % des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cette déforestation a plusieurs origines : exploitation des produits forestiers ligneux et non ligneux, besoin d'espace pour l'expansion des villes, conversion de forêts en terres agricoles, exploitation minière (Joyard et Sommeria, 2019).

❖ Méthodes d'estimation du stock de carbone dans la biomasse ligneuse

Une étude sur la biomasse est nécessaire pour calculer la quantité de carbone séquestré dans les arbres. Cette étude permet d'avoir des données sur la biomasse et donc sur la quantité de carbone dans chaque strate de la forêt ou même du paysage (Mcghee et *al.*, 2016). La biomasse est définie comme étant la « masse totale des organismes vivants se trouvant dans un périmètre ou un volume donné » (GIEC, 2001). En effet, l'estimation de la quantité de carbone séquestré par les végétaux dans un écosystème suit un processus basé sur la détermination de la biomasse de l'arbre exprimé en kilogrammes de poids de matière sèche. Il existe deux méthodes pour déterminer la biomasse des ligneux : La méthode non destructive et la méthode destructive.

- La première méthode dite destructive ou directe implique un certain nombre d'étapes, notamment : la récolte de l'arbre, la coupe de l'arbre en compartiments plus maniables (tronc, branches, rameaux, feuilles et brindilles), le prélèvement et le séchage des échantillons des compartiments à l'étuve et la pesée des échantillons après séchage.
- La deuxième qui est une méthode non destructive permet de convertir les paramètres dendrométriques pris lors de l'inventaire tel que le diamètre, et éventuellement la hauteur du tronc à travers un tarif de cubage (Brown et *al.*, 1989). Les relations allométriques utilisées dans le cadre de cette méthode, intègre des paramètres comme le diamètre, la hauteur, les dimensions du houppier, le volume et la biomasse de l'arbre (King, 1996).

Pour estimer la biomasse des espèces ligneuses sur pied dans la zone tropicale, plusieurs modèles allométriques ont été appliqués. L'allométrie permet de recueillir des informations quantitatives sur la végétation sans détruire les individus. C'est une ancienne technique forestière. Elle est le premier type de modèle statistique utilisé pour déterminer la biomasse des végétaux. On l'appelle aussi « l'approche non destructive » par opposition à celle dite « destructive » qui a justement permis d'élaborer ces modèles allométriques (Mbow, 2009).

GlobAllometree est une base de données qui collectionne les équations allométriques disponibles dans le monde. Au total, 1058 équations allométriques pour l'estimation de la biomasse et du volume de l'arbre ont été répertoriées en Afrique sub-saharienne (Henry et *al.*, 2013). En effet, on a noté que plusieurs modèles allométriques existent, mais il est rare d'en trouver sur les écosystèmes arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest. En plus, il n'existe pas de modèle spécifique de calcul de la biomasse pour le Sénégal (Brown, 1997). On note également qu'il existe très peu d'études sur le stock de carbone ligneux dans les écosystèmes de savane du

Sénégal (Mbow, 2009). La plupart des équations de biomasse élaborées sont spécifiques aux espèces ou groupes d'espèces ou même à une zone géographique (Henry et *al.*, 2011).

Toutefois, l'application d'équations allométriques locales dans des zones autres que celles pour lesquelles elles ont été faites pourrait entraîner des biais (erreurs) importants (Panzou et *al.*, 2016). Il existe toujours une erreur lors de l'estimation de la biomasse d'un arbre. Cette dernière correspond à l'écart entre les valeurs de biomasse observées et les valeurs prédites par le modèle allométrique (Mcghee et *al.*, 2016).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation des zones d'étude

2.1.1 Situation géographique et administrative

Cette étude a été menée dans deux communes du Bassin arachidier. Il s'agit des communes de Kael et de Kahone. Ces deux localités se trouvent dans la zone éco-géographique du Bassin arachidier (ISRA, 2008).

- La commune de Kael se trouve entre 14°43Nord et 15°55 Ouest au centre du Bassin arachidier (Figure 1). Elle appartient à la région de Diourbel et au département de Mbacké. Elle couvre une superficie de 804 km² (PRDI de Kaolack, 2008).

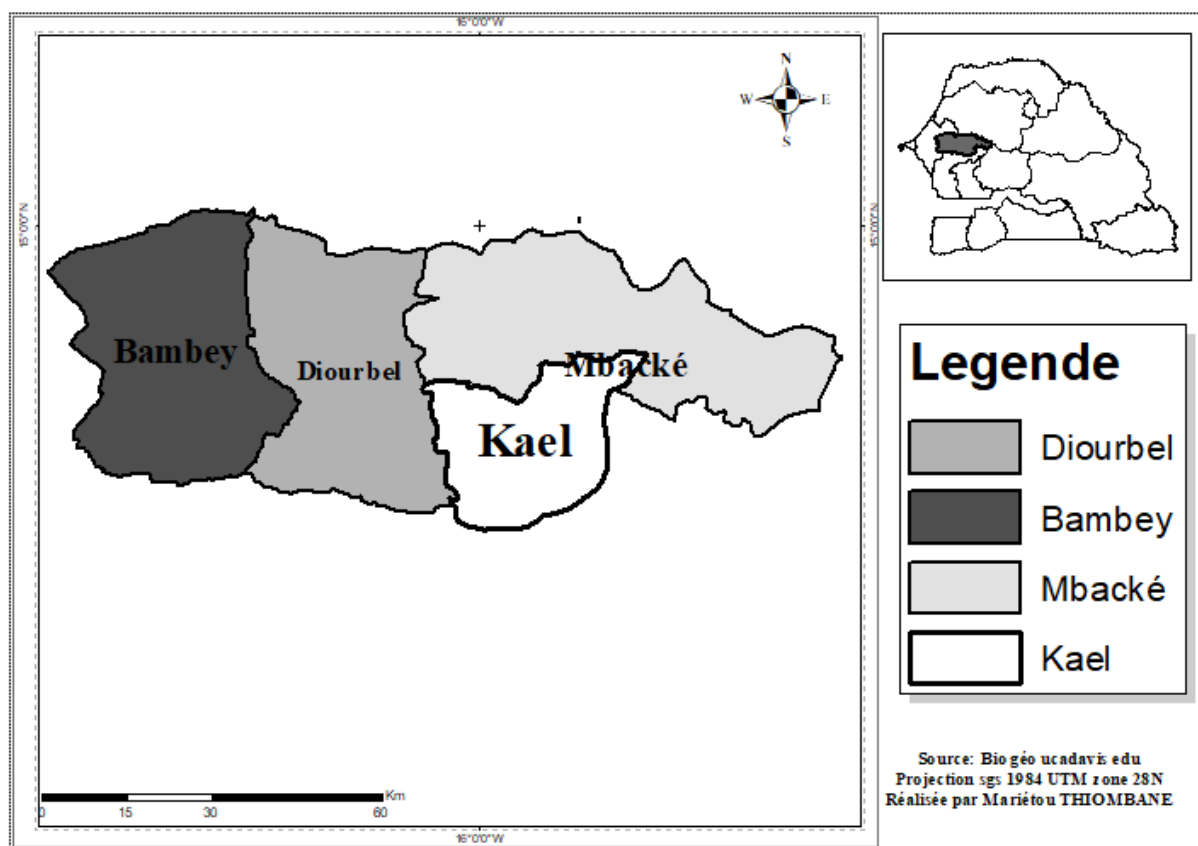


Figure 1 : carte de localisation de la commune de Kael

- La commune de Kahone quant à elle appartient au département et à la région de Kaolack. Elle se situe entre 14°30 et 16°30 de longitude ouest et 13°30 et 14°30 de latitude nord (ANSD, 2009). Kahone est à environ 5 km au nord-est de la commune de Kaolack (Figure 2). La région de Kaolack se situe ainsi entre la zone sahélienne sud et la zone soudanienne nord et constitue avec les régions de Kaffrine, Fatick et Diourbel le cœur du Bassin

arachidier (ANSD/SRSD, 2015). Cet emplacement est classé comme BSh (Semi-aride chaud) par Köppen et Geiger (Hufty *et al.*,2001).

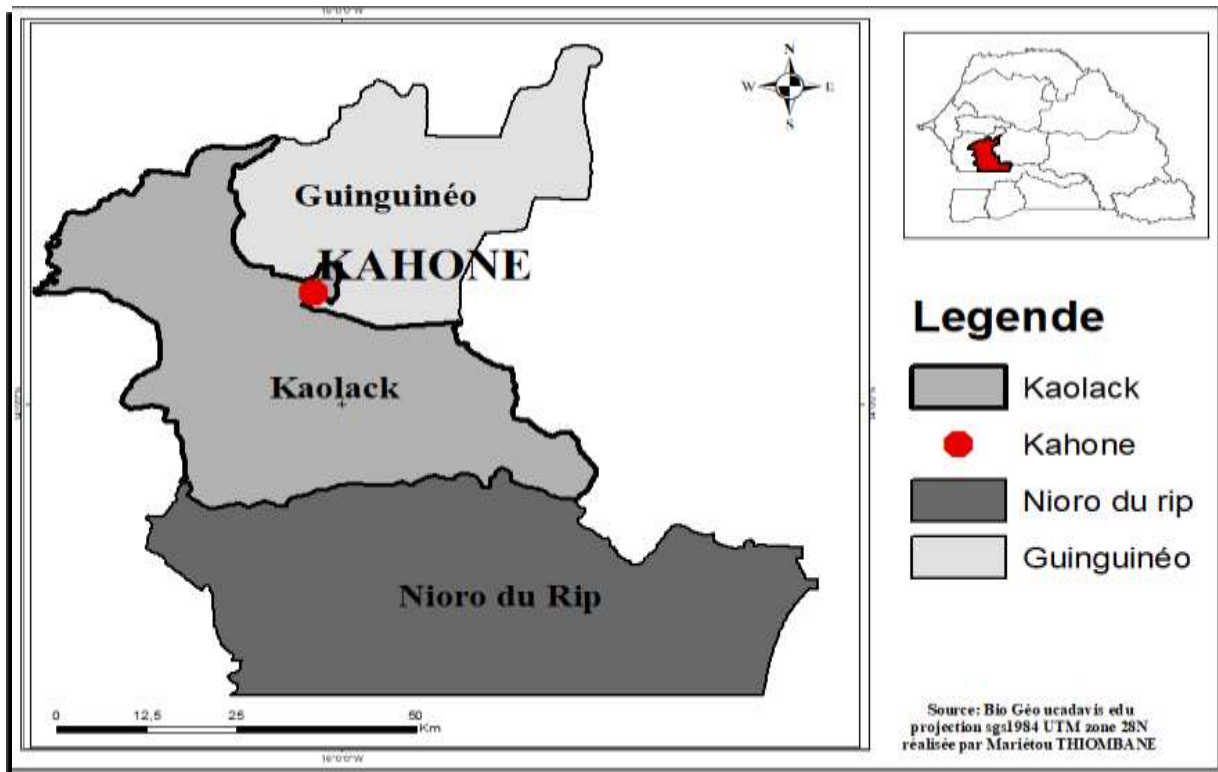


Figure 2: carte de localisation de la commune de Kahone

2.1.2 Le climat

Le climat joue un rôle essentiel dans la répartition des végétaux et des animaux. Il contribue aussi à la formation des sols, par la décomposition de la matière organique et par l'altération des matériaux géologiques (Ciesla, 1997).

Le climat de la commune de Kahone est de type soudano-sahélien. Il est caractérisé par deux saisons : une saison sèche qui dure 9 mois (octobre à juin) et une saison des pluies de 3 mois (de juillet à septembre) PNDL, 2019

Les pluviométries annuelles de la région de Kaolack pour la série 1988 à 2018 montrent des quantités de pluies moyennes se situant entre 400 et 800 mm (Figure 3). Cinquante pour cent (50%) des années sont déficitaires.

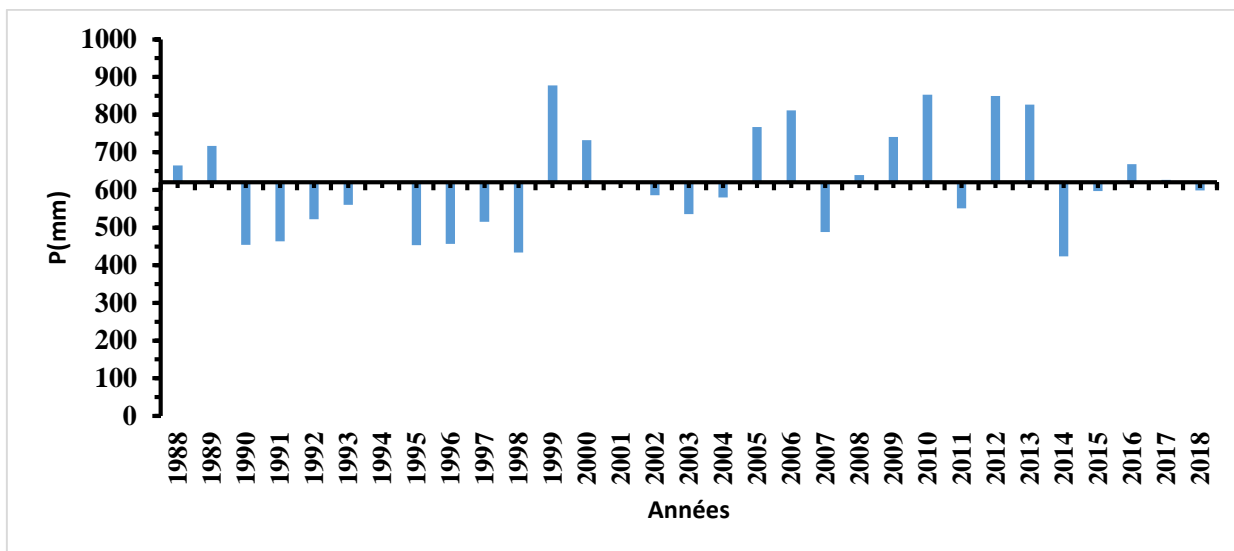


Figure 3: tendance des moyennes pluviométriques de 1988 à 2018 de la station de Kaolack (Source de données : ANACIM, 2019).

Les précipitations sont réparties entre juillet, août et septembre. La pluviométrie moyenne de la station de Kaolack est de 620,67 mm sur une période de 30 ans (1988 à 2018).

La région présente présente une variation thermique importante suivant les mois. La température moyenne mensuelle est plus importante au mois de Mai (31,59°C) et plus faible au mois de Décembre (25,44°C) (Figure 4).

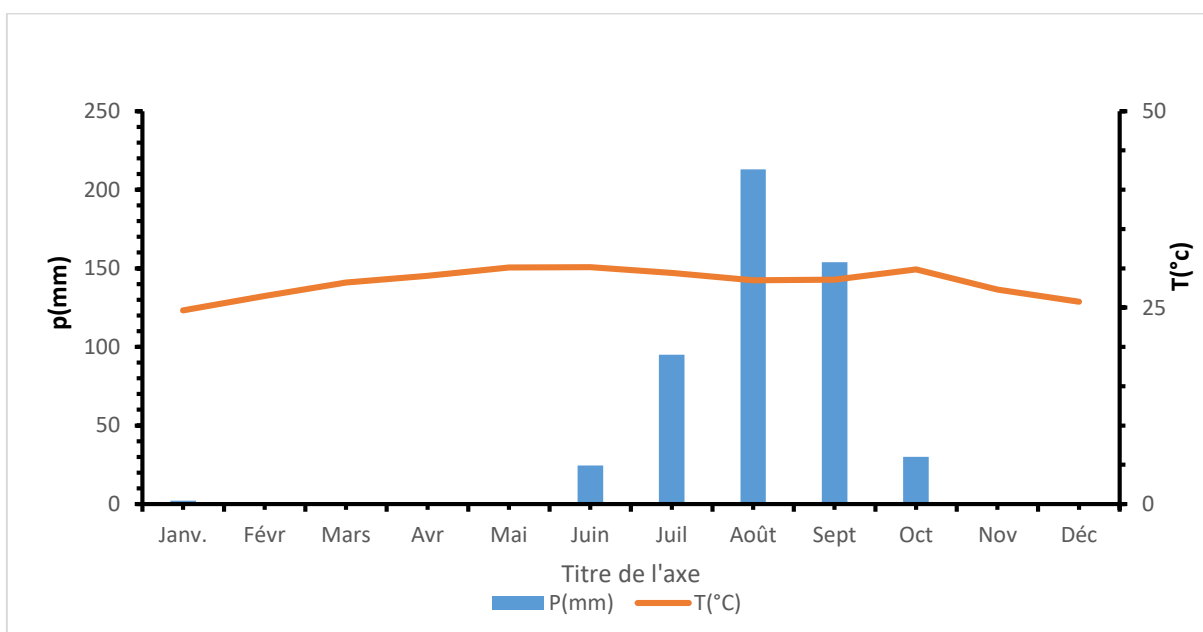


Figure 4: diagramme ombrothermique de la station de Kaolack pour la série des pluviométries et moyennes de 1988 à 2018 (source de données : ANACIM, 2019)

- Kael a un climat de type sahélien, chaud et sec. Ce climat est caractérisé par l’alternance de deux saisons: une saison des pluies qui s’étend de juillet à octobre et une sèche longue allant de novembre à juin. L’analyse de la figure5 montre des quantités de pluie qui oscillent entre 340,86 et 759,5 mm. Nous constatons que durant cette série, 16 années sur 30 soit 51,61% des années, sont déficitaires avec des quantités de pluie inférieures à la moyenne pluviométrique qui est de 521,74mm.

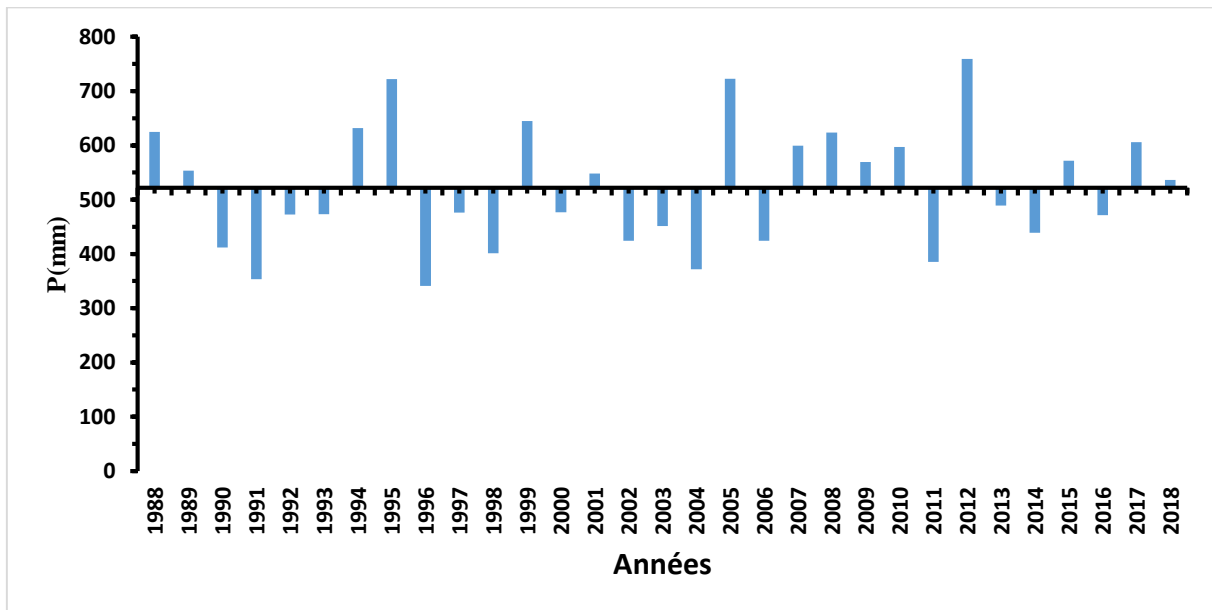


Figure 5: tendance des moyennes pluviométriques de 1988 à 2018 de la station de Kaolack (source de données : ANACIM, 2019)

Les précipitations sont réparties entre juillet et septembre. La pluviométrie moyenne de la station de Diourbel est de 543,35 mm sur une période de 30 ans (1988 à 2018).

La région présente une température moyennes mensuelle de 28,95° C, avec la moyenne mensuelle la plus élevée (31,52°C) au mois de Mai, et la plus faible (25 ;79° C) au mois de janvier (Figure 6).

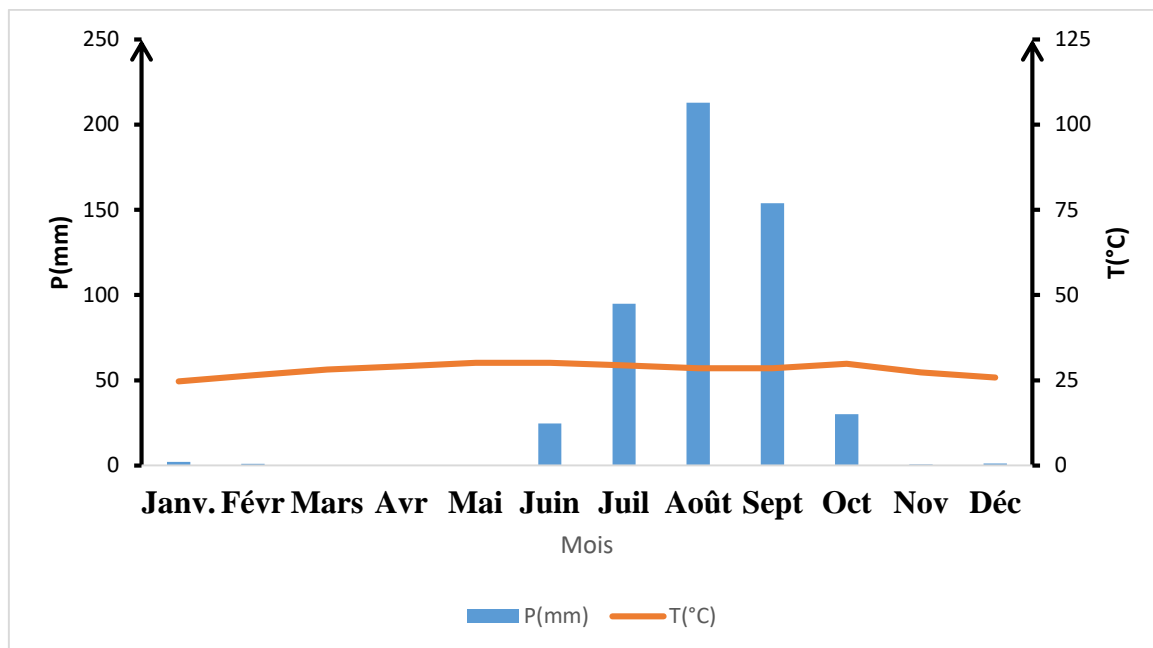


Figure 6: diagramme ombrothermique de la station de Diourbel de 1988 à 2018 (source de données : ANACIM, 2019)

2.1.3 Caractéristiques pédo-morphologiques

Les sols de la commune de Kahone comme presque partout dans la commune de Ndiago qui se situe dans la zone soudano-sahélienne (PNDL, 2019) sont constitués de :

- Sols ferrugineux tropicaux lessivés ou sols Dior qui occupent près de 85% des terres cultivables. Ce sont des sols meubles et perméables, peu fertiles.
- Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés (sols Deck-Dior). Ces sols occupent près de 10% des terres de la commune et sont aptes aux cultures du sorgho, du mil, du niébé et de l'arachide.
- Sols bruns hydromorphes ou sols ferrugineux tropicaux non lessivés (Deck) qui sont des sols argileux et riches en matière organique (humus) ; ils couvrent 5% des terres cultivables.
- A Kael, les sols sont essentiellement de type ferrugineux tropicaux lessivés « Dior » (PAFR, 2009).

2.1.4 Caractéristiques de la végétation

La végétation est peu abondante dans le département de Mbacké, néanmoins, elle présente encore des reliques forestières d'un certain intérêt, notamment dans la commune de Kael. La strate

arbustive est essentiellement composée de combrétacées. En outre, la région de Diourbel présente la biodiversité la plus faible du pays avec seulement 580 espèces recensées. La végétation est dominée par des espèces annuelles de graminées telles que *Cenchrus biflorus* (*xaaxam*) qui est l'espèce dominante de la zone (Conseil Régional de Diourbel, 2009).

La végétation de la région de Kaolack est du domaine Soudano-sahélien. Elle est très variée. On y rencontre une savane arbustive au nord et une savane plus ou moins boisée vers le sud et le sud-est (ANSD/SRSD, 2015). Elle est composée essentiellement de trois strates : arbustive, arborée et herbacée.

- La strate arbustive est formée essentiellement de *Guiera Senegalensis* J. F. Gmel., de *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. et de *Piliostigma reticulum* DC. Hochst.

- La strate arborée est principalement composée de : *Andansonia digitata* L., *Faidherbia albida* L., *Zizyphus mauritiana* Lam., etc.

- La strate herbacée est caractérisée par des espèces saisonnières qui ne poussent généralement que durant l'hivernage (DIALLO, 2013).

2.1.4 Activités socioéconomiques

Les principales activités économiques de la commune de Kahone sont : l'agriculture, l'élevage, l'exploitation des produits forestiers et le petit commerce. L'agriculture concerne surtout l'arachide et le mil (Badji et al., 2014). La région est essentiellement agricole, près de 65% de la population pratiquent l'agriculture. D'autres activités telles que l'élevage, les activités de pêche, l'exploitation forestière, les activités industrielles et artisanales, les activités commerciales... sont aussi pratiquées dans la région (ANSD/SRSD, 2019). Par contre, les principales activités économiques de la région de Diourbel sont l'agriculture, l'élevage et le commerce (ANSD, 2009). La région, avec son type de sol (sol Dior) fournit les 40 à 50% de la production arachidière et céréalière, de même que 80% de la production de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) de la zone (PAPSEN, 2015).

2.2 Méthodes utilisées

2.2.1 Relevés de végétation ligneuse

Des images satellitaires ont été obtenues à l'aide du logiciel Google earth pro. Celles-ci ont permis d'avoir une idée sur l'état de la végétation et d'établir une base d'inventaire. En d'autres termes elles ont permis d'identifier les différentes zones d'occupations de l'espace (zone de cultures, pâturage, les habitations etc.). Un quadrillage systématique des cartes des zones

d'étude a été effectué. Le quadrillage a consisté à réaliser un maillage de la zone d'étude en des mailles d'un Km². Les coordonnées du centre de chaque maille correspondent à l'emplacement d'une placette. Ces placettes distribuées de manière systématique ont représenté 10% de chaque zone d'étude. Des placettes carrées de 50m de côté soit 0,25ha ont été installées dans les surfaces échantillonnées à Kael et à Kahone (Figure 7 (a)). Pour ce faire, la méthode 3-4-5 a été utilisée pour matérialiser les angles droits des placettes à l'aide d'une ficelle de 50 m de long, de jalons et d'un ruban métrique. Au total, 28 placettes ont été installées dont 16 à Kahone et 12 à Kael. A l'intérieur de chaque placette, un inventaire complet de la flore ligneuse a été effectué. La liste floristique a été établie sur la base de la flore du Sénégal (Berhaut, 1967). Les synonymes ont été actualisés sur la base de l'énumération des plantes à fleurs d'Afrique Tropicale (Lebrun et Stork, 2015).

Les jeunes plants représentant la régénération ont été dénombrés (Figure 7 (b)). Les individus ayant un diamètre inférieur à 3,5 cm ont été considérés comme appartenant à la régénération (Wague, 2016). Les mesures dendrométriques de l'ensemble des individus inventoriés ont été réalisées. Ainsi pour chaque individu, la hauteur a été mesurée à l'aide d'un dendromètre sun-too, le diamètre du tronc de l'arbre à hauteur de poitrine à l'aide d'un compas forestier, le diamètre croisé du houppier (direction Est-Ouest et Nord-Sud) à l'aide d'un ruban métrique. Le niveau d'anthropisation de la végétation a été apprécié selon les critères qualitatifs identifiés tel que : l'émondage, l'élagage et l'abattage.

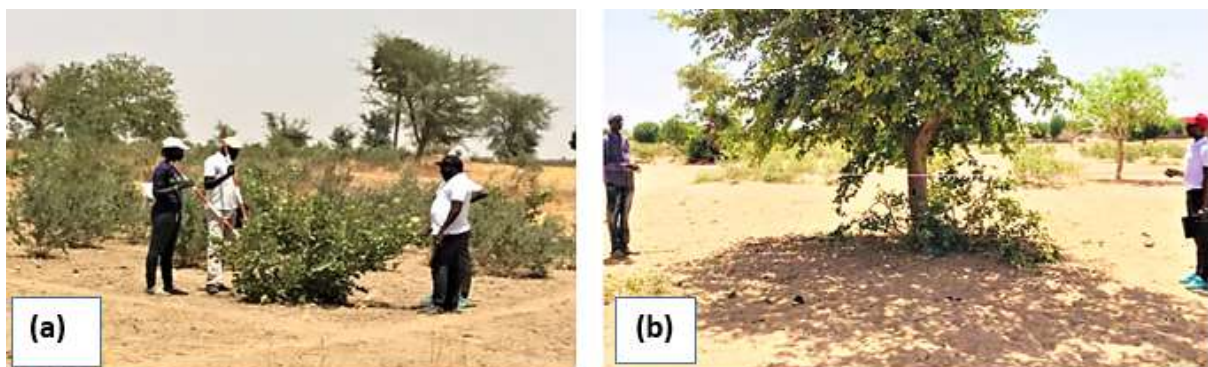


Figure 7: installation de la placette (a) et mesures dendrométriques (b)

2.2.3 Traitement des données

Les données collectées sur le terrain lors de l'inventaire ont été traitées à l'aide du tableur Excel. Ce dernier servi au classement des données et au calcul des paramètres de la végétation lig

neuse dans les deux zones d'études. Le tableur Excel a été utilisé aussi pour l'élaboration des graphiques. L'analyse des variances (ANOVA a un facteur au seuil de 5%) et le test de comparaison de moyennes de Tukey (HSD) ont été réalisés à l'aide du logiciel R-studio version R-1.2.1335.

- **La richesse spécifique de la végétation** est calculée à partir de la richesse spécifique totale et la richesse spécifique moyenne. **La richesse spécifique totale (S)** est le nombre total d'espèces d'un peuplement considéré dans un écosystème donné (Ramade, 2003).

$$s = \textit{Effectif totale des espèces}$$

La richesse spécifique moyenne est le nombre moyen d'espèces par relevé dans un échantillon donné. La richesse spécifique fait partie des principales caractéristiques d'un peuplement végétal. Elle représente la mesure la plus fréquemment utilisée pour étudier la biodiversité.

$$Smoy = \frac{s1 + s2 + s3 + \dots sn.}{N}$$

Avec N= nombre total de relevés, S = Nombre total d'espèces pour un relevé

- **la densité** est le nombre d'individus par unité de surface. Elle s'exprime en nombre d'individus/ha. Nous avons déterminé la densité observée (densité réelle) calculée par la formule ci-dessous :

$$N = \frac{n}{S}$$

n= l'effectif total des individus dans l'échantillon ; S= surface échantillonnée.

- **Le recouvrement aérien** est la projection du houppier au sol. Il est exprimé en mètre carré par hectare (m². ha-1). Ce paramètre est déterminé par la formule suivante :

$$R = \frac{\sum \pi \left(\frac{dmh}{2} \right)^2}{S}$$

Où R= recouvrement ; Dmh= diamètre moyen du houppier (en m) = d (Est-Ouest) + d (Nord-Sud) /2; SE= surface de l'échantillon considéré (en ha).

- **La surface terrière** est la surface de l'arbre évaluée à la base du tronc de l'arbre. Elle est exprimée en mètre carré par hectare (m².ha⁻¹) (Rondeux, 1993). Elle est donc obtenue à partir de la formule suivante :

$$St = \frac{\sum \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}{SE}$$

Avec St = surface terrière ; d_{0,3} = diamètre en m du tronc à 0,3 m ; SE = surface de l'échantillon considéré en .ha.

- **Fréquence relative d'une espèce** est la distribution d'une espèce dans un échantillon par rapport à la distribution de toutes les espèces. Elle est donnée par la formule suivante:

$$Fr = \frac{Fi}{F} \times 100$$

Avec Fr = fréquence relative (en %); Fi = fréquence de présence de l'espèce i (en);
et F = la somme des fréquences de toutes les espèces de l'échantillon.

- **La fréquence de présence** : c'est la distribution d'une espèce dans un peuplement. Elle est donnée par la formule suivante exprimée (Roberts-Pichette et Gillespie, 2002 cités par (Ngom et *al.*, 2013) Ngom, 2013) :

$$F = \frac{Nri}{Nr} \times 100$$

F= fréquence de présence exprimée en % ; Nri = nombre de relevés où l'on retrouve l'espèce i et Nr = nombre total de relevés

- **Taux de régénération du peuplement** est obtenu par le rapport en pourcentage entre l'effectif total des jeunes plants et l'effectif total du peuplement (Poupon, 1980) :

$$TRP = \frac{\text{effectif des jeunes plants}}{\text{effectif total du peuplement}} \times 100$$

L'effectif total du peuplement est égal à la somme des jeunes plants et les plantes adultes.

- **L'indice de Shannon-Weaver et l'indice de Piélou**

L'indice de Shannon (Shannon et Weaver, 1949), aussi appelé indice de Shannon-Weaver ou Shannon-Wiener, est dérivé de la théorie de l'information (Marcon, 2010). Il désigne le rapport entre le nombre d'espèces et le nombre d'individus d'une même population. Il est fonction de l'abondance relative des espèces qui est la probabilité Pi de μ présence de chaque espèce i par

rapport au nombre total d'individus (Saïdi, 2018). L'indice de diversité de Shannon-Weaver est l'indice le plus couramment utilisé dans la littérature (Diedhiou et *al.*, 2018). La valeur de H' est comprise entre $[0 ; 4,5]$, elle est minimale ($H' = 0$) si tous les individus appartiennent à une même espèce, et elle est maximale ($H' = 4,5$) si les individus appartiennent à des espèces différentes (Frontier et Pichod-Viale, 1995). Il est calculé par la formule suivante :

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

Avec $p_i = N_i/N$; N_i : nombre d'individus d'une espèce donnée ; i : allant de 1 à s (s : nombre total d'espèces) ; N : nombre total d'individus.

- **L'indice de régularité de Piélou (1966),**

La diversité végétale peut être comparée par la régularité spécifique (équitabilité) de Piélou (1966), qui est le rapport entre la diversité (H') mesurée sur le site et la valeur du maximum théorique possible de cette diversité (H_{max}). Il est connu également sous le nom d'équitabilité et constitue la qualité d'organisation d'une communauté. L'indice est compris entre 0 et 1 : il vaut 0 quand une seule espèce est présente et 1 quand toutes les espèces ont la même abondance (ROCKLIN, 2013). La formule de l'indice est la suivante :

$$E = \frac{H'}{H_{max}}$$

Avec H' = indice de shannon ; $H_{max} = \log_2 S$; S = richesse spécifique

- **Le degré d'anthropisation**

C'est le pourcentage d'espèces ligneux écorcé, élagué, coupé... Par rapport au nombre total d'espèces inventoriées. Cette indice permet de déterminer le niveau d'exploitation de la végétation dans une zone donnée.

$$\text{Degré d'anthropisation} = \frac{N_a}{N_t} \times 100$$

Avec : N_a , le nombre d'espèces exploitées ; N_t , le nombre total d'espèces inventoriées

- **La structure du peuplement :** L'évaluation des populations ligneuses peut se réaliser à travers les paramètres suivants :

- la répartition des individus en classes de hauteur ou de diamètre comme indicateur de la dynamique des peuplements ;
- l'état démographique des individus juvéniles, gage du renouvellement des peuplements (Onana et Devineau, 2002).

- **L'Importance spécifique de régénération** : est quant à elle obtenue à partir du rapport en pourcentage entre l'effectif des jeunes plants d'une espèce et l'effectif total des jeunes plants dénombrés (Akpo & Grouzis, 1996) :

$$ISR = \frac{\textit{Effectif total des jeunes plants dénombré}}{\textit{Effectif des jeunes plants d'une espèce}} \times 100$$

- **Estimation de la quantité de carbone stockée chez les ligneux**

Dans le cadre de cette étude, la méthode non destructive a été utilisée pour estimer la quantité de carbone contenue dans la biomasse aérienne des ligneux. Le carbone contenu dans la biomasse morte et la biomasse racinaire n'a pas été évalué.

L'estimation du carbone séquestré se fait en deux étapes : le calcul de la biomasse et le calcul de la quantité de carbone séquestré.

La biomasse aérienne (en kg) est calculée par la formule ci-après :

$$AGB = 0,0673 \times (pD^2H)^{0,976}$$

Avec AGB (kg) = biomasse, p (en g/cm^3) = densité spécifique, $p=0,5$

D (en cm) = diamètre à 1,30m du sol et H (en m) = hauteur de l'arbre (Chave et al., 2014).

La quantité de carbone séquestré (C/ha) est obtenue par la formule suivante :

$$CA = B \times FC$$

Avec CA (kg/ha) = carbone stocké dans la biomasse, B= la biomasse (t.ha-1) et FC= facteur de conversion (50 %) (Chave et al., 2014).

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

3.1.1 Analyse floristique du peuplement

3.1.1.1 composition floristique

La flore inventoriée dans les communes de Kahone et de Kael est riche de 25 espèces réparties dans 22 genres et 12 familles botaniques (Tableau 1). Les familles les plus représentées sont : la famille des Fabaceae (40%) avec 10 espèces, suivie des Combretaceae (16%) avec 04 espèces. Toutes les autres familles sont représentées par une seule espèce. Les genres les plus représentés sont *Acacia* (13,63%) avec 3 espèces et *Combretum* (9,09%) avec 2 espèces.

A Kahone, la flore est riche de 25 espèces (avec une richesse spécifique moyenne de 6 espèces). Ces espèces sont réparties dans 22 genres et 12 familles.

Quant à la commune de Kael, elle renferme 6 espèces (avec une richesse spécifique moyenne de 2,66 espèces). Celles-ci sont réparties dans 6 genres et 5 familles botaniques. La famille dominante est celle des *Fabaceae* (33%). Il apparaît ainsi que toutes les espèces recensées sont présentes dans la commune de Kahone. Cette commune est plus riche en termes de diversité floristique que celle de Kael. La richesse spécifique moyenne de la végétation est de 4,33 espèces par relevé à l'échelle des deux communes.

Tableau 1: classification botanique et liste des espèces présentes dans les communes de Kahone et de Kael.

Familles	Genres	Espèces	Kahone	Kael
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Ozoroa</i>	<i>Ozoroa insignis</i> (Del.) Kuntze.	+	-
	<i>Sclerocarya</i>	<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.)	+	-
<i>Apocynaceae</i>	<i>Calotropis</i>	<i>Calotropis procera</i> (Ait.) Ait. F.	+	-
<i>Arecaceae</i>	<i>Borassus</i>	<i>Borassus akeassii</i> (B,O.G.)	+	+
<i>Burseraceae</i>	<i>Commiphora</i>	<i>Commiphora africana</i> (A. Rich.) Engl.	+	-
<i>Combretaceae</i>	<i>Anogeissus</i>	<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Guill. & Perr.	+	-
	<i>Combretum</i>	<i>Combretum aculeatum</i> (Vent.)	+	-
		<i>Combretum glutinosum</i> (Perr. ex DC.)	+	-
	<i>Guiera</i>	<i>Guiera senegalensis</i> (J. F. Gmel.)	+	+
<i>Ebenaceae</i>	<i>Diospyros</i>	<i>Diospyros mespiloformis</i> (Hochst.)	+	-

<i>Icacinaceae</i>	<i>Icacina</i>	<i>Icacina senegalensis</i> (A.Juss.)	+	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Acacia</i>	<i>Acacia ataxacantha</i> (DC.)	+	-
		<i>Acacia nilotica</i> var. <i>adansonii</i> (Guill. et Perrott) O. Ktze.	+	-
		<i>Acacia seyal</i> (Delile) P.J.H.Hurter	+	-
	<i>Cordyla</i>	<i>Cordyla pinnata</i> (A.Rich.)	+	-
	<i>Piliostigma</i>	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	+	+
	<i>Tamarindus</i>	<i>Tamarindus indica</i> (L.)	+	-
	<i>Faidherbia</i>	<i>Faidherbia albida</i> (Del) A. Chev.	+	+
	<i>Dichrostachys</i>	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.)	+	-
	<i>Prosopis</i>	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	+	-
<i>Indigofera</i>	<i>Indigofera tinctoria</i> (L.)	+	-	
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus</i>	<i>Ficus platiphylla</i> (Del.)	+	-
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Zizyphus</i>	<i>Zizyphus mauritiana</i> (Lam.)	+	+
<i>Rubiaceae</i>	<i>Feretia</i>	<i>Feretia apodanthera</i> (Delile subsp.)	+	-
<i>Zygophyllaceae</i>	<i>Balanites</i>	<i>Balanites aegyptiacus</i> (L.) Delile	+	+
<i>Total</i> 12	22	25	25	6

+ : Présence ; - : Absence

3.1.1.2 Analyse fréquentielle des espèces ligneuse à Kahone (a) et à Kael (b)

L'analyse fréquentielle (Figure 8) a permis d'appréhender les liaisons des espèces vis-à-vis des deux communes. Elle a montré que l'espèce *Guiera senegalensis* est la plus fréquente dans la commune de Kahone avec une fréquence de présence de 81,25%. Elle est suivie des espèces *Faidherbia albida* (75%), *Combretum glutinosum* (56,25%) et *Icacina senegalensis* (56,25%). Dans la commune de Kael, c'est *Guiera senegalensis* qui est l'espèce la plus fréquente avec une fréquence de présence de 91,66 % (figure 8b). Elle est suivie des espèces *Balanites aegyptiaca* (75%), *Faidherbia albida* (58,33%) et de *Zizyphus mauritiana* (25%). Les espèces telles que *Piliostigma reticulatum* et *Borassus akeassii* sont peu fréquentes dans la commune avec une fréquence de présence de 8,33% chacune.

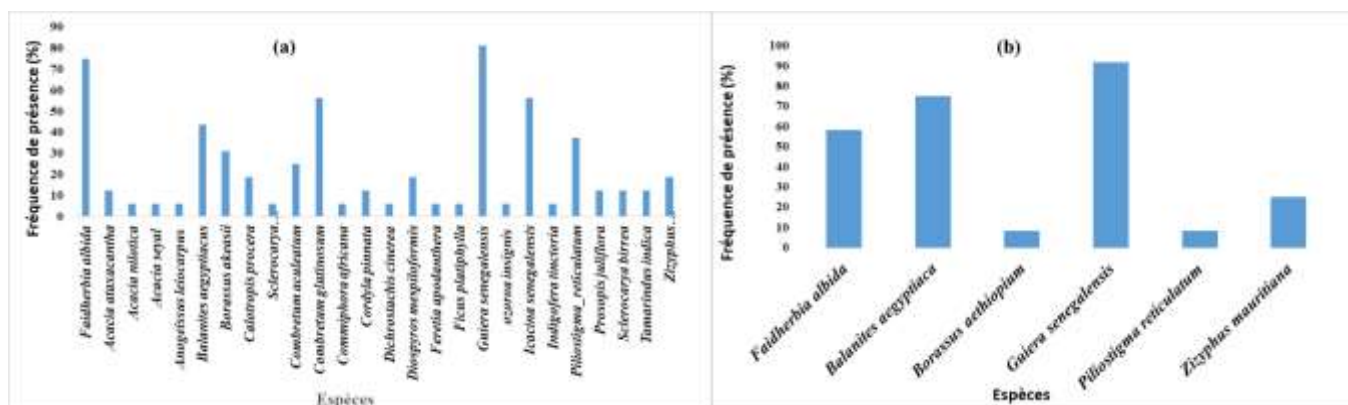


Figure 8: fréquence centésimale (%) des espèces ligneuses à Kahone (a) et à Kael (b)

3.1.1.3 Abondance relative des espèces ligneuses de Kael et de Kahone

L'analyse du Tableau 2 indique une dominance parfaite de l'espèce *B. aegyptiacus* (47,82%) dans la zone de Kael. Elle est suivie des espèces *G. senegalensis* (23,91%) et *F. albida* (15,21%). A Kahone, l'espèce *F. albida* est largement dominante (15,59%). Les espèces les moins abondantes sont *A. nilotica*, *A. seyal*, *A. leiocarpus*, *S. birrea*, *C. africana*, *D. cinera*, *F. apodanthera*, *F. platyphylla*, *H. insignis*, *I. tinctoria* avec chacune une abondance relative de 0,92%.

Tableau 2: abondance relative des espèces inventoriées dans les communes de Kahone et Kael

Espèces	Kahone		Kael	
	Effectif	Abondance relative (%)	Effectif	Abondance relative (%)
<i>Acacia ataxacantha</i>	3	2,75	-	-
<i>Acacia nilotica</i>	1	0,92	-	-
<i>Acacia seyal</i>	1	0,92	-	-
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	1	0,92	-	-
<i>Balanites aegyptiacus</i>	11	10,09	22	47,83
<i>Borassus akeassii</i>	5	4,59	1	2,17
<i>Calotropis procera</i>	3	2,75	-	-
<i>Sclerocarya birrea</i>	1	0,92	-	-
<i>Combretum aculeatum</i>	4	3,67	-	-
<i>Combretum glutinosum</i>	10	9,17	-	-

<i>Commiphora africana</i>	1	0,92	-	-
<i>Cordyla pinnata</i>	3	2,75	-	-
<i>Dichrostachis cinera</i>	1	0,92	-	-
<i>Diospyros mespiloformis</i>	3	2,75	-	-
<i>Faidherbia albida</i>	17	15,6	7	15,22
<i>Feretia apodanthera</i>	1	0,92	-	-
<i>Ficus platiphylla</i>	1	0,92	-	-
<i>Guiera senegalensis</i>	14	12,84	11	23,91
<i>Ozoroa insignis</i>	1	0,92	-	-
<i>Icacina senegalensis</i>	9	8,26	-	-
<i>Indigofera tinctoria</i>	1	0,92	-	-
<i>Piliostigma reticulatum</i>	6	5,51	1	2,18
<i>Prosopis juliflora</i>	2	1,82	-	-
<i>Sclerocarya birrea</i>	4	3,67	-	-
<i>Tamarindus indica</i>	2	1,84	-	-
<i>Zizyphus mauritiana</i>	3	2,75	4	8,7

3.1.2 Paramètres structuraux de la végétation ligneuse

3.1.2.1 densité

La densité de la végétation ligneuse (Tableau 3) est plus élevée dans la commune de Kahone (23,5 individus/ha) que dans celle de Kael (15,33 individus/ha).

Tableau 3: paramètres structuraux de la végétation ligneuse à Kahone et à Kael

Paramètres	Localités		
	Kahone	Kael	
Surface terrière (m ² /ha)	1,12	0,37	
Recouvrement (m ² /ha)	1535,78	386,58	
Densité (individus/ha)	23,5	15,33	
Diversité spécifique	H' (bits)	4,06	1,96
	E	0,86	0,35

Légende : H'= indice de Shannon, E= indice d'équitabilité,

A Kael, c'est *B. aegyptiaca* qui présente la densité la plus élevée avec 88 individus à l'hectare, suivi de *G. senegalensis* (44 individus/ha), de *F. albida* (28 individus/ha), et *Z. mauritiana* (16

individus/ha). Les densités les plus faibles sont observées avec de *B. akeassii* et de *P. reticulatum* avec 4 individus/ha chacune (Figure 9 b).

Dans la commune de Kahone, les espèces qui présentent les densités les plus élevées sont: *F. albida* (72 individus/ha), *G. senegalensis* (56 individus/ha), *C. glutinosum* (40 individus/ha) et *B. aegyptiaca* (36 individus/ha). Les densités les plus faibles sont observées avec les espèces telles que : *A. nilotica*, *A. seyal*, *A. leiocarpus*, *Sc. birrea*, *C. africana*, *D. cinerea*, *F. platiphylla*, *O. insignis*, *I. tinctoria*, et *Z. mauritiana* avec chacune une densité de 4 individus à l'hectare (Figure 9 a).

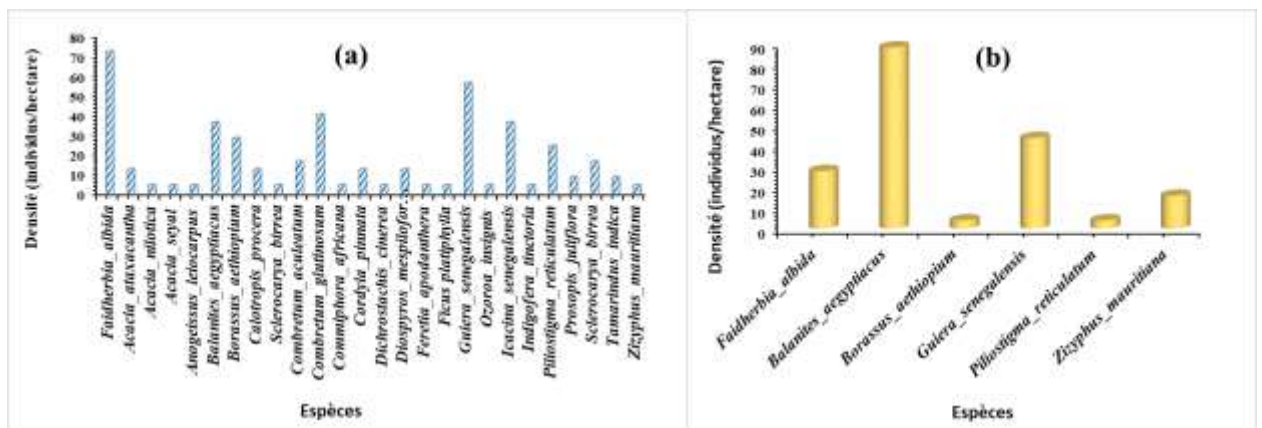


Figure 9: densité observée des espèces ligneuses à Kahone (a) et à Kael (b)

3.1.2.2 Surface terrière

La surface terrière est la surface d'ancrage en m² par hectare évaluée à la hauteur 1,30 m du tronc de l'arbre. Elle est plus élevée dans la localité de Kahone que dans celle de Kael avec des valeurs respectives de 1,12 m²/ha et 0,37 m²/ha (Tableau 3).

3.1.2.3 Recouvrement aérien

Le recouvrement aérien des espèces ligneuses est plus important à Kahone (1535,78m²/ha) qu'à Kael (386,58 m²/ha) (Tableau 3). Les espèces les plus représentatives en termes de recouvrement sont : *F. albida* (474,79m²/ha), *D. mespiliformis* (337,11m²/ha) et *F. platiphylla* (212,42m²/ha). A Kael, trois espèces sont plus représentatives en termes de recouvrement. Il s'agit de *B. aegyptiacus* (213,29m²/ha), *Z. mauritiana* (85,22m²/ha) et de *F. albida* (67,99 m²/ha) (Figure 10).

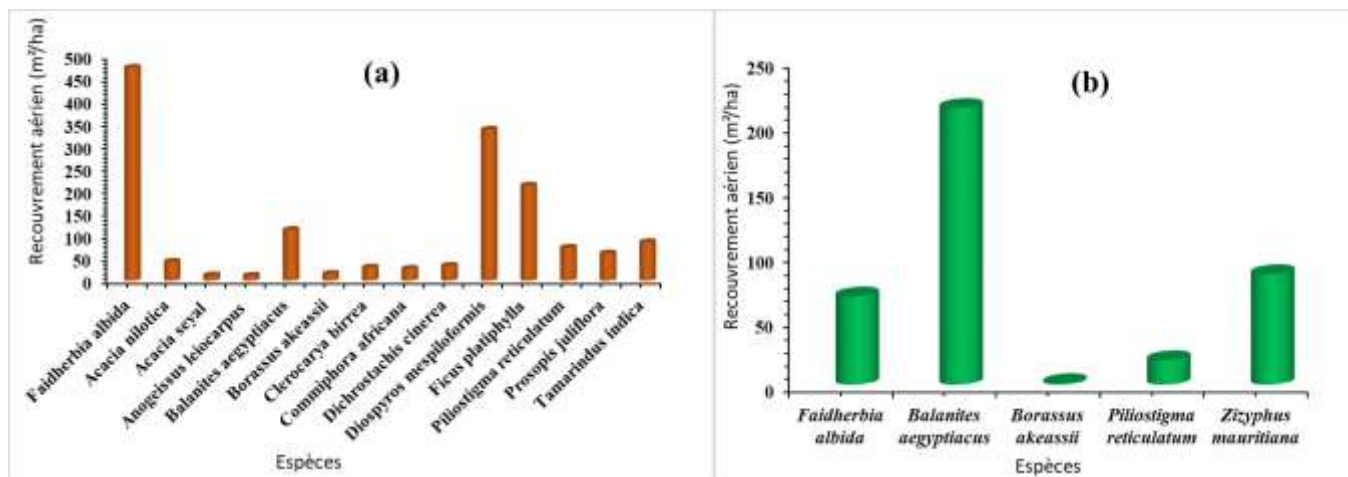


Figure 10: recouvrement aérien des espèces à Kahone (a) et à Kael (b)

3.1.2.4 Diversité spécifique de la végétation ligneuse

La diversité spécifique de la végétation ligneuse est plus importante dans la commune de Kahone avec un indice de shannon de 4,06 bits et un indice de Pielou de 0,86. Elle est faible à Kael avec un indice de shannon de 1,96 bits et un indice de Pielou de 0,36 (Tableau 3).

3.1.2.4 Structure du peuplement ligneux (individus de Diam > 3,5 cm)

3.1.2.4.1 Distribution des individus par classe de diamètre

Le diamètre moyen des individus du peuplement dans la commune de Kahone est de 37,95 cm. Ce peuplement est dominé par des individus de diamètre inférieur à 33,5 cm. Ces individus représentent 89% de l'effectif total des individus de diamètre supérieur à 3,5 cm (figure 11 a). Les individus de diamètre supérieur à 63,5 cm représentent 10,71 % de l'effectif des individus de diamètre supérieur à 3,5 cm. Quant au peuplement ligneux de la commune de Kael, il présente une structure en « L » (figure 11 b) caractéristique d'un peuplement de type 1 dominé par des individus jeunes. Cette structure traduit aussi un bon recrutement des jeunes individus vers les classes intermédiaires. Le peuplement ligneux de cette commune est dominé par des individus appartenant à la classe de diamètre [3,5-13,5 cm [renfermant à elle seule 58,33 % des individus de diamètre supérieur à 3,5 cm.

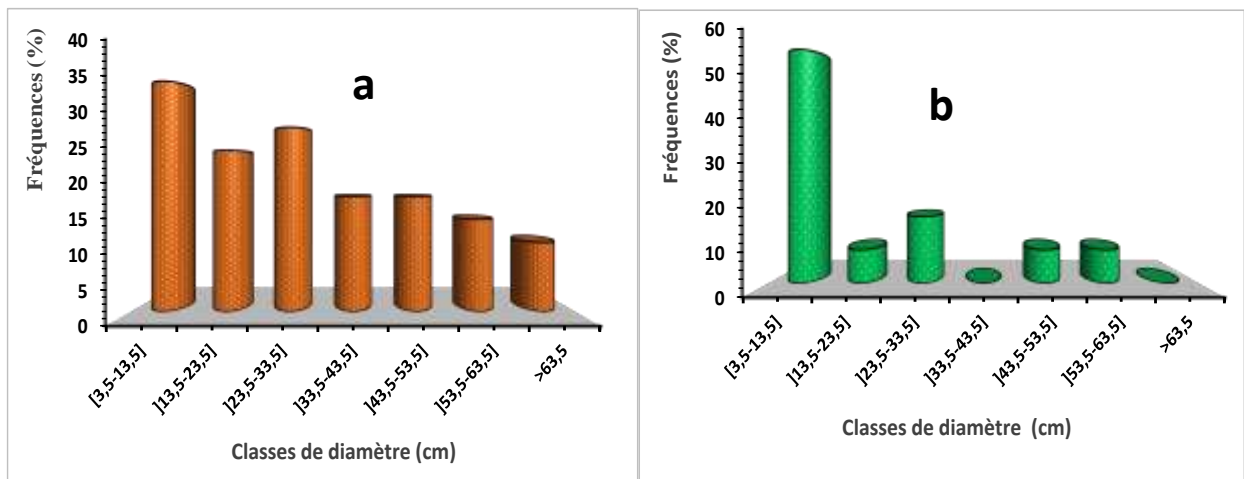


Figure 11: répartition des individus de la végétation ligneuse par classes de diamètre à Kahone (a) et à Kael (b)

3.1.2.4.2 Distribution des individus par classes de hauteur

L'analyse de la figure 12 (a) montre que dans la commune de Kahone, la végétation ligneuse est dominée par des individus appartenant à la classe de hauteur [0-2 m [. Cette classe renferme à elle seule 68,18% des individus du peuplement ligneux de la commune de Kahone. La structure verticale du peuplement ligneux de la commune de Kael (figure 12 b) montre aussi une dominance des individus de hauteur comprise entre [0-2 [avec plus de la moitié des individus du peuplement ligneux (56,52%). Les individus de hauteur supérieure à 10 m sont absents dans cette commune. La distribution verticale des individus dans les deux localités est en forme de « L » caractéristique d'un peuplement de type 1 c'est-à-dire dominé par un grand nombre de sujets jeunes. Cette structure montre une diminution du nombre d'individus quand on passe des classes de faible hauteur aux classes de grande taille.

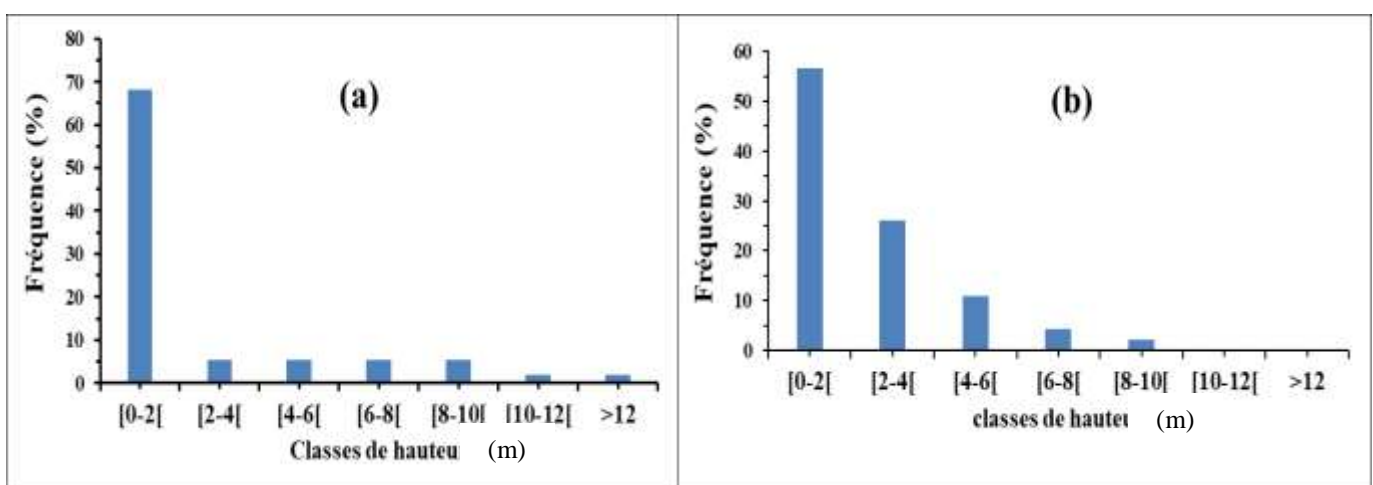


Figure 12: structure verticale des espèces ligneuses des communes de Kahone (a) et de Kael (b)

3.1.3 L'effet anthropique sur la végétation dans les communes de Kahone et de Kael

Suivant les éléments de l'anthropisation, l'émondage reste le plus pratiqué dans la commune de Kahone avec 72% des sujets, suivi de l'abatage (16%) et de l'élagage (9%). Le taux d'écorçage est faible avec 3% d'individus écorcés. Globalement, dans cette localité, le taux d'anthropisation est de l'ordre de 41,02%. Dans la commune Kael, le taux d'anthropisation est de 31,43%. L'émondage est plus pratiqué avec 81,82%, suivi de l'abatage et l'élagage avec chacun 9,09% (figure 13).

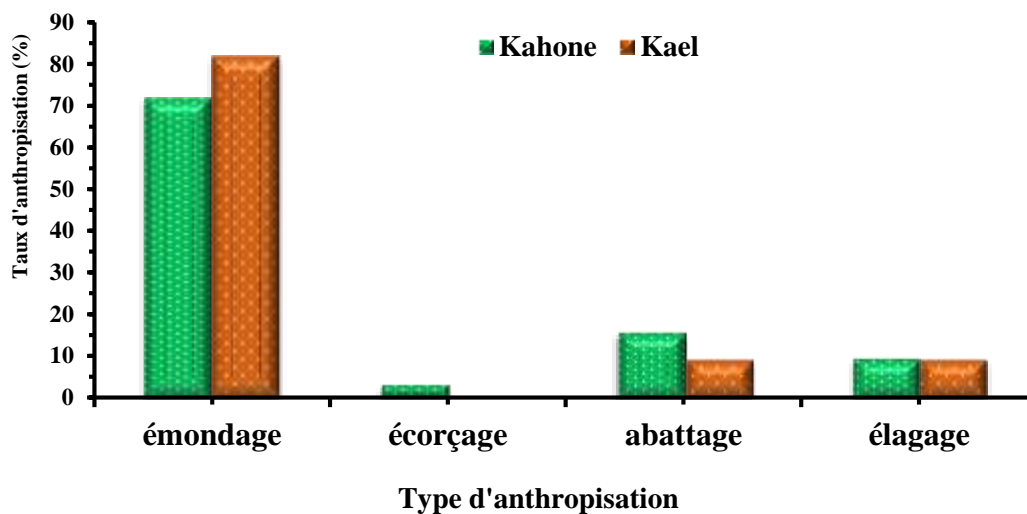


Figure 13: degré d'anthropisation de la végétation dans les communes de Kahone et de Kael

3.1.4 Régénération du peuplement ligneux

Dans l'ensemble des sites, on constate un taux de régénération élevé du peuplement ligneux avec 96,56% à Kahone et de 95,16% à Kael (Tableau 4).

Dans la commune de Kahone, c'est les espèces *G. senegalensis* et *C. glutinosum* qui présentent les Indices Spécifique de Régénération (ISR) les plus élevés avec des valeurs respectives de 56,54% et 14,45%. L'espèce qui régénère moins dans cette commune est *P. juliflora* avec un ISR de 0,10. Dans la commune de Kael, c'est l'espèce *G. senegalensis* qui a l'ISR le plus élevé avec une valeur de 79,90 %. Elle est suivie de l'espèce *B. aegyptiaca* avec une valeur de 14,53 %. Les autres espèces ont toutes des ISR inférieurs à 5%. L'espèce qui régénère le moyen dans la commune de Kael est *Z. mauritiana* (1,21%). La famille des Combretaceae présente l'ISR le plus élevé du peuplement ligneux dans les deux communes (74,55% à Kahone et 79,90% à Kael).

Tableau 4: variation de l'indice spécifique de régénération et du taux de régénération du peuplement suivant les localités

Communes	familles	Espèces	jeunes plants	ISR (%)	TRP
Kahone	<i>Anacardiaceae</i>	<i>Ozoroa insignis</i>	4	0,42	96,56
		<i>Sclerocarya birrea</i>	3	0,31	
		<i>Calotropis procera</i>	15	1,57	
	<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum aculeatum</i>	34	3,56	
		<i>Combretum glutinosum</i>	138	14,45	
		<i>Guiera senegalensis</i>	540	56,55	
	<i>Icacinaceae</i>	<i>Icacina senegalensis</i>	51	5,34	
	<i>Fabaceae</i>	<i>Faidherbia albida</i>	45	4,71	
		<i>Acacia ataxacantha</i>	6	0,63	
		<i>Indigofera tinctoria</i>	1	0,11	
		<i>Cordyla pinnata</i>	10	1,05	
		<i>Piliostigma reticulatum</i>	53	5,55	
		<i>Prosopis juliflora</i>	1	0,11	
	<i>Rhamnaceae</i>	<i>Zizyphus mauritiana</i>	9	0,94	
<i>Rubiaceae</i>	<i>Feretia apodanthera</i>	21	2,2		
<i>Zygophyllaceae</i>	<i>Balanites aegyptiaca</i>	24	2,51		
Kael	<i>Fabaceae</i>	<i>Faidherbia albida</i>	18	4,36	95,16
	<i>Zygophyllaceae</i>	<i>Balanites aegyptiacus</i>	60	14,53	
	<i>Combretaceae</i>	<i>Guiera senegalensis</i>	330	79,90	
	<i>Rhamnaceae</i>	<i>Zizyphus mauritiana</i>	5	1,21	

ISR : Indice Spécifique de Régénération ; **TRP** : Taux de Régénération du Peuplement

3.1.5 Biomasse produite et carbone séquestré par les ligneux

3.1.5.1 Biomasse ligneuse produite et carbone séquestré suivant les localités

Les résultats de l'analyse de variance n'ont révélé aucune différence significative ($p = 0,082$) de la biomasse ligneuse produite entre les deux communes. Elle est toutefois plus importante en valeur absolue dans la commune de Kahone ($11,401418 \pm 20,28$ Kg C/ha) que dans celle de Kael ($3,06 \pm 7,05$ Kg C/ha).

Quant au stock de carbone dans la biomasse ligneuse, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative ($P = 0,08$) entre les communes de Kahone et de Kael (Tableau 5). Le stock de carbone est toutefois plus élevé en valeur absolue à Kahone ($5,70 \pm 10,14$ Kg C/ha) qu'à Kael ($1,53 \pm 3,52$ Kg C/ha).

Tableau 5: variation de la biomasse ligneuse produite et le carbone séquestré suivant les localités

Variables	Kahone	Kael	p-value
ABG Total (kg/ha)	11,40±20,29	3,07±7,05	0,082
C(total) (KgC/ha)	5,70±10,14	1,53 ± 3,53	0,08

ABG= Biomasse ligneuse ; C= stock de carbone dans la Biomasse

3.1.5.2. Stock de carbone de la biomasse aérienne du peuplement ligneux suivant les familles et les localités

La variation du stock de carbone suivant les familles est très hautement significative ($P= 2,79e-10$) à Kahone. Dans cette localité, la famille des *Moraceae* a la capacité de stockage de carbone la plus élevée avec 56,45 Kg C/ha, suivie de la famille des *Ebenaceae* (15,04 kg C/ha). La famille qui présente la capacité de stockage la plus faible est celle des *Burseraceae* (0,63kg C/ha). A Kael, il n'y a pas de différence significative de la quantité de carbone stocké entre les familles ($p= 0,09$). Toutefois en valeur absolue, le stock de carbone de la famille des *Fabaceae* est plus élevé (5,54 kg C/ha) comparé à celui des autres familles. La famille des *Rhamnaceae* a le stock de carbone le plus faible avec 0,034 kg C /ha (figure 14).

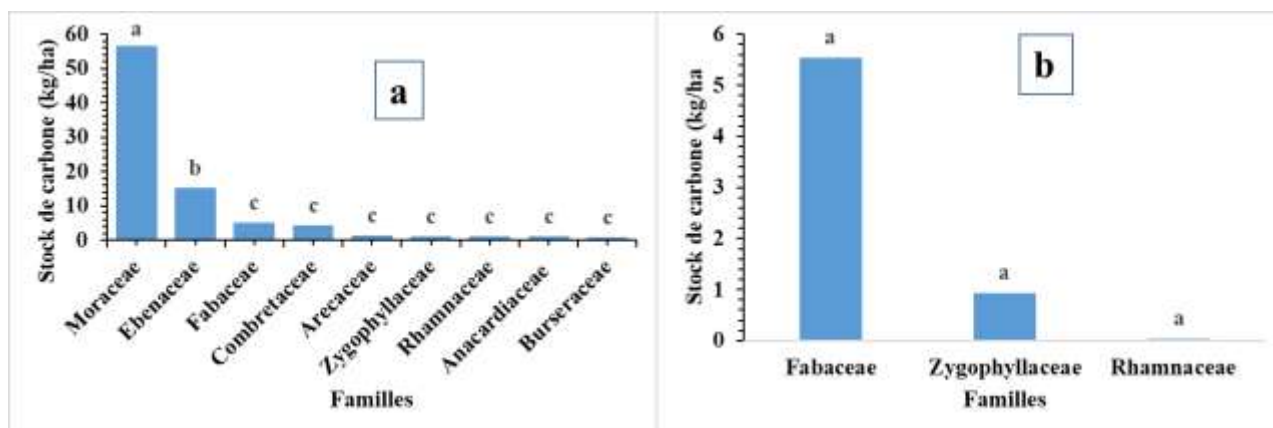


Figure 14: variation du stock de carbone suivant les familles à Kahone (a) et à Kael (b)

3.1.5.3. Stock de carbone de la biomasse aérienne du peuplement ligneux suivant les espèces et les localités

La variation du stock de carbone en fonction des espèces à Kahone est très hautement significative ($P= 4,4e-07$ ***). L'espèce qui présente le stock de carbone le plus élevé est *F. platiphylla* avec 56,45 kg C/ha et celle qui a le stock le plus faible est *A. seyal* avec 0,55kg C/ha. Dans la commune de Kael, l'espèce qui a le stock de carbone le plus élevé est *F. albida* (7,61 kg C/ha) tandis que *Z. mauritiana* a le stock de carbone le plus faible avec 0,03 kg C/ha

(Tableau 6). La variation du stock de carbone est très hautement significative ($p= 1,96e-07$) entre les espèces ligneuses dans la commune de Kael.

Tableau 6: variation du stock de carbone suivant les espèces à Kahone et à Kael

Communes	Espèces	Stock de carbone (kg/ha)	P Value
Kahone	<i>Ficus platiphylla</i>	56,451a	4,4e-07
	<i>Diospyros mespiliformis</i>	15,0416b	
	<i>Tamarindus indica</i>	8,43bc	
	<i>Faidherbia albida</i>	6,26bc	
	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	4,014bc	
	<i>Cordyla pinnata</i>	3,94bc	
	<i>Piliostigma reticulatum</i>	2,90bc	
	<i>Prosopis juliflora</i>	1,92bc	
	<i>Dichrostachis cinera</i>	1,33bc	
	<i>Borassus akeassii</i>	1,07c	
	<i>Balanites aegyptiacus</i>	0,95c	
	<i>Acacia nilotica</i>	0,94c	
	<i>Zizyphus mauritiana</i>	0,82c	
	<i>Sclerocarya birrea</i>	0,78c	
<i>Commiphora africana</i>	0,63c		
<i>Acacia seyal</i>	0,55c		
Kael	<i>Faidherbia albida</i>	7,61a	1,962e-07
	<i>Piliostigma eticulatum</i>	1,40b	
	<i>Balanites aegyptiacus</i>	0,93b	
	<i>Zizyphus mauritiana</i>	0,03b	

3.2. Discussion

L'objectif général de l'étude est de contribuer à une meilleure connaissance de l'état et du potentiel de séquestration de carbone de la végétation ligneuse dans les espaces cultureux du Bassin arachidier. Pour ce faire, l'étude a porté sur la composition floristique du peuplement ligneux, les paramètres structuraux de la végétation, l'anthropisation du peuplement ligneux et le carbone séquestré par la végétation.

3.2.1 Composition floristique du peuplement ligneux

La flore des deux communes est riche de 25 espèces appartenant à 22 genres et 12 familles botaniques. Kahone renferme 25 espèces contre 6 à Kael. Au niveau des unités de végétation, toutes zones confondues, les familles dominantes sont celles des Fabaceae et des Combretaceae. Ces résultats corroborent ceux de plusieurs auteurs (Charahabil et *al.*, 2008; Wague, 2016; Diedhiou et *al.*, 2018) qui soutiennent que dans le Bassin arachidier, les familles dominantes sont les Fabaceae et les Combretaceae.

Toutefois les résultats relatifs à la richesse spécifique sont inférieurs à ceux obtenus par Sarr, (2013) qui a trouvé une richesse spécifique de 70 espèces dans des terroirs villageois du département de Kounghoul (à Keur Mbouki et Malem Hoddar). Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que cet auteur a travaillé dans des champs qui ont fait l'objet de reboisement mais aussi où les espèces bénéficient de la protection des agriculteurs. De plus, la zone de Kounghoul reçoit plus de pluviométrie que celles de Kael et Kahone.

A Kahone, l'espèce dominante est *F. albida* (15,59%) tandis qu'à Kael, c'est *B. aegyptiacus* (47,82%) qui prédomine. Toutes les espèces recensées lors de l'inventaire sont présentes dans la commune de Kahone. Cette forte diversité de cette commune pourrait s'expliquer par le fait que les producteurs conservent certaines espèces qui leur sont utiles dans les zones de cultures. Cela est confirmé par Fall, (2017) qui stipule que dans le Bassin arachidier, la place de l'arbre au sein d'un peuplement végétal s'explique par son rôle dans le système rural. Les champs sont parsemés d'espèces ligneuses de différentes familles du fait de leur capacité à fertiliser les sols ou à fournir des ressources alimentaires. Quant à la faible diversité de la commune de Kael, elle pourrait s'expliquer par le fait que le couvert végétal y est très faible et se présente essentiellement sous forme d'arbres isolés en raison de la forte occupation agricole de l'espace rural (PAFR, 2004). Cette situation pourrait aussi s'expliquer par la forte croissance démographique à Kael avec comme corolaire une forte pression foncière. La forte croissance démographique de cette commune est liée à sa proximité avec la ville de Touba. Selon ANSD/SRSD (2015), Diourbel fait partie des rares régions du Sénégal à ne pas avoir de forêt

classée et de formations forestières proprement dites. Cette région connaît une forte dégradation des écosystèmes causée par la culture de l'arachide et la pression démographique avec son corollaire l'urbanisation.

3.2.2 Paramètres structuraux de la végétation

La densité réelle globale des ligneux est faible dans les zones d'étude. Elle est plus élevée dans la commune de Kahone (23,5 ind/ha) que dans celle de Kael (15,33 ind/ha). Ces faibles densités dans les sites d'étude pourraient s'expliquer par les défrichements et les mauvaises pratiques agricoles. Les espèces *F. albida* (72 individus/ha), *G. senegalensis* (56 individus/ha) dans la commune de Kahone et *B. aegyptiacus* (88 individus/ha) et *G. senegalensis* (44 individus/ha) dans celle de Kael, ont les densités les plus élevées. Ces résultats corroborent ceux de Dieng (2006) selon qui *F. albida* régénère bien dans les systèmes d'utilisation des terres de cette zone du Bassin arachidier. La forte densité des espèces de la famille des *Combretaceae* comme *G. senegalensis* pourrait s'expliquer par le fait que ces espèces régénèrent bien après leur défrichement au niveau de champs. En effet, elles se maintiennent par des souches vivantes qui, après l'installation des cultures, émettent des rejets (Donfack, 1998 ; Mbaye, 2010 ; Mbaye et al., 2014). Ces résultats sont aussi en phase avec ceux de Sarr et al. (2013) qui soutiennent que de nos jours, les espèces de la famille des *Combretaceae* (*C. glutinosum*, *C. micranthum*, *A. leiocarpus*, etc.), qui étaient moins représentées, sont devenues fréquentes.

L'indice de diversité spécifique de Shannon évalué à 4,06 bits à Kahone est plus important que celui de Kael (1,89 bits). La valeur élevée de l'indice de Shannon traduit une richesse spécifique et une meilleure répartition des individus entre les espèces à Kahone qu'à Kael.

La structure horizontale du peuplement ligneux à Kahone indique que 60,71% des sujets appartiennent aux classes de diamètre intermédiaire. Cette structure peut être révélatrice d'un faible potentiel de régénération dû aux pressions anthropiques ou aux conditions écologiques du milieu (Glèlè Kakaï R, Bonou Wagué, 2016).

La végétation à Kael montre une structure horizontale « L » caractéristique d'un peuplement de type 1 dominé par des individus jeunes. On note une diminution progressive des individus au fur et à mesure que le diamètre augmente. Cette structure du peuplement est révélatrice d'un peuplement jeune et stable. En effet, selon Abdourhamane et al. (2013), les densités élevées des classes de faible diamètre assurent l'avenir de la formation naturelle tandis que les faibles densités des classes de gros arbres résultent de la sélection naturelle et sont en fait les semenciers qui assurent la pérennité du peuplement.

La distribution du peuplement par classe de hauteur montre une prédominance des individus de petite taille (<5m). Ces résultats sont conformes à ceux de Charahabil et *al.* (2008) qui ont réalisé leur étude dans le Bassin arachidier du Sénégal, dans les régions de Kaolack et de Fatick. C'est le cas également de Diouf et *al.* (2019) qui ont travaillé sur la structure et dynamique de la flore et la végétation de la réserve spéciale botanique de Noflaye. La structure du peuplement montre une bonne représentation des individus dans les premières classes de hauteur. Cela signifie que la végétation est dominée par les arbustes. Cependant, la faible présence des individus de grande taille peut s'expliquer par le fait que dans les champs, les producteurs ne conservent que certaines espèces qui ont de multiples usages et les autres sont éliminées au cours de l'installation des cultures.

3.2.3 Taux de régénération

Le taux de régénération est élevé dans les deux sites d'étude. Selon Diouf et *al.* (2019), cette forte régénération pourrait s'expliquer en partie par la présence d'un peuplement à dominance arbustive à forte potentiel de régénération. *G. senegalensis* est l'espèce qui a le taux de régénération le plus élevé. Ces résultats sont en phases avec ceux de Bakhoum et *al.* (2012) qui affirment que dans les terroirs du Bassin arachidier, les espèces de la famille des *Combretaceae* dont *G. senegalensis* et *C. glutinosum* présentent un taux de régénération plus élevé et leur mode de reproduction est essentiellement végétatif. Wagué (2016) soutient également que *G. senegalensis* est l'espèce qui présente le taux de régénération le plus élevé dans le Bassin arachidier. Cette espèce trouve son maximum écologique dans les zones fortement anthropisées et, mieux, elle est capable de régénérer même à la suite d'une coupe rase. D'où sa tendance à coloniser rapidement les espaces où ils se développent et à devenir grégaire comme l'a montré Mbaye (2010) en moyenne Casamance.

3.2.4 Anthropisation du peuplement ligneux

L'intensité de l'anthropisation du peuplement ligneux est plus forte dans la commune de Kahone (41,02%) que de celle de Kael (31,43%). Parmi les types d'anthropisation, l'émondage est le plus pratiqué, suivi de l'élagage. En effet, cette pression sur la végétation peut être due à l'installation des cultures qui ont besoin de plus de lumière pour la première phase de leur cycle de développement. Mais également, il peut être dû à l'utilisation des ligneux pour le bois de chauffe par la population et également à l'élagage des arbres pour l'alimentation du bétail durant la saison sèche. Ceci corrobore les résultats de Fall (2017) qui stipule que certains ligneux appartenant à d'autres familles comme celles des *Anacardiaceae* (*Sclerocarya birrea*), *Bomba-*

caceae (*Bombax costatum*), *Arecaceae* (*Borassus akeasii*), *Fabaceae* (*Cordyla pinnata*, *Xeroderris stuhlmannii*) et *Sterculiaceae* (*Stercula setigera*), participent aussi à la fourniture de fourrage aérien pour le bétail. De surcroît, Sarr et al. (2013) évoquent que dans les zones rurales du Sénégal, le fourrage ligneux est une alternative pour l'alimentation du bétail en saison sèche, car le pâturage herbacé se fait rare. Ils ont constaté également que cette pression sur la végétation est aussi liée aux comportements des populations dans l'utilisation des ressources ligneuses et non ligneuses.

3.2.5 Stock de carbone dans la biomasse aérienne des ligneux

Le stock de carbone séquestré dans leur biomasse aérienne des ligneux est plus important à Kahone qu'à Kael avec respectivement $5,70 \pm 10,14$ Kg C/ha et $1,53 \pm 3,52$ Kg C/ha. Cette situation s'explique par la faible présence de gros arbres comme *F. platiphylla* à Kael. En effet, les études de Marone (2015) ont montré que les arbres qui ont une bonne croissance en diamètre et en hauteur stockent plus de carbone. Ces résultats pourraient aussi s'expliquer par la faible densité des individus ligneux dans la localité de Kael, mais également par les actions anthropiques comme les mauvaises pratiques agricoles dans le Bassin arachidier. Selon Marone, (2015) cette pression est plus marquée dans les parcours naturels, aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies. Dans la commune de Kahone, la famille des *Moraceae* a la capacité de stockage la plus élevée avec 56,45 Kg C/ha suivie de celle des *Ebenaceae* (15 kg C/ha). La famille qui a la capacité de stockage la plus faible est celle des *Burseraceae* (0,63kg C/ha). La forte quantité de carbone stockée par la famille des *Moraceae* peut s'expliquer par la présence de *Ficus platiphylla*, qui est une espèce de grande taille, et qui a une capacité de stockage élevée. Par contre à Kael, *F. albida* a la quantité de carbone stocké la plus élevée avec 14,98 kg C/ha. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'espèce développe un gros tronc. Ce qui est confirmé par Diatta (2013) selon qui, dans les parcs agroforestiers du Nord du Bassin arachidier du Sénégal, *F. albida*, a une capacité de stockage du carbone élevée avec $7,1 \text{ tCO}_2\text{.ha}^{-1}$. Ce résultat est aussi en phase avec ceux de Sarr et al. (2013) et Peltier et al. (2007) qui ont montré qu'il existe une corrélation positive entre les différents paramètres dendrométriques et le stockage de carbone des espèces.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de caractériser la végétation ligneuse mais également d'évaluer le stock de carbone aérien des ligneux dans des espaces cultureux du Bassin arachidier (Kahone et Kael). Elle a permis de recenser 25 espèces appartenant à 22 genres et 12 familles botaniques avec une dominance de la famille des Fabaceae (40%) avec 10 espèces, suivies des Combrétaceae (16%) avec 04 espèces. Le recouvrement aérien des espèces ligneuses est plus important à Kahone (1535,78m²/ha) qu'à Kael (386,58 m²/ha). L'étude montre une surface terrière plus élevée dans la commune de Kahone que dans celle de Kael avec des valeurs respectives de 1,12 m² et 0,37 m²/ha.

L'analyse des paramètres structuraux a révélé que la densité réelle est de 23,5 individus à l'hectare à Kahone et 15,33 individus à l'hectare à Kael. La diversité spécifique est élevée à Kahone et faible à Kael.

La structure horizontale révèle une prédominance des classes de petit diamètre à Kael et de diamètre intermédiaire à Kahone. Quant à la structure verticale, elle montre une prédominance des individus de faible hauteur dans les deux communes. Le taux de régénération de la végétation ligneuse est très élevé dans les deux communes.

La végétation a une capacité de stockage de carbone plus importante dans la commune de Kahone (5,70±10,14 Kg C/ha) que dans celle de Kael (1,53±3,52 Kg C/ha).

Au terme de cette étude, il ressort des différents résultats une bonne caractérisation de la ressource ligneuse à abattre et des nombreux services écosystémiques offerts comme l'indiquent les différents types d'anthropisation. Pour compenser et permettre aux populations locales de mieux s'adapter après la perte de ses ressources végétales, des plantations devront se faire, surtout les espèces multi usages intégralement ou partiellement protégées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdourhamane H., Morou B., Rabiou, H., Amhamane A. 2013.** Caractéristiques floristiques, diversité et structure de la végétation ligneuse dans le Centre-Sud du Niger : cas du complexe des forêts classées de Dan kada Dodo-Dan Gado. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **7**(3), 1048.
- Akindele G. S. 2000.** Possibilité d'aménagement durable de la forêt classée de l'Alibori supérieur : structure et dynamique des principaux groupements végétaux et périodicité d'exploitation. Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 161p.
- Akpo L. E. et Grouzis M. 1996.** Influence du couvert sur la régénération de quelques espèces Ligneuses sahéliennes (Nord-Sénégal, Afrique occidentale). *Webbia* **50**(2) : 247-263.
- André L. 2011.** Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: A review of available allometric equations. *Silva Fennica*, **45** (3), 477–569.
- Anne B. L., Rene E., Pierre G. 1992.** La forêt: Ecologie-Gestion, Economie. Conservation. pp.109-114.
- Anonyme 2009.** Plan D'action Forestier Régional de Diourbel, 14, 10.
- ANSD/SRSD., 2015.** Situation Economique et Sociale Regionale 2012. Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Diourbel, 9p.
- ANSD/SRSD. 2019.** Situation économique et sociale régionale 2016, 12p.
- ANSD., 2009.** -Situation économique et sociale de la région de Dakar de l'année 2008, 157.
- Badji M., Sanogo D., Akpo, L. E. 2014.** Dynamique de la végétation ligneuse des espaces sylvopastoraux villageois mis en défens dans le Sud du Bassin arachidier au Sénégal. *Bois et forêts des tropiques*, **319** (1), 43–52.
- Bakhoum C. 2012.** -Diversité et capacités de régénération naturelle du peuplement ligneux dans les systèmes agraires du Bassin Arachidier en zone soudano-sahélienne (région de Kafrine, Sénégal). Thèse de doctorat en Biologie, Physiologie et productions végétales, UCAD/FST, p 154.
- Bamba I., Barima Y. S. S., Bogaert J. 2010.** Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le Bassin du Congo en R. D. Congo. *Tropical Conservation Science*, **3** (1), 31–44.
- Berhaut J. 1967.** Flore du Sénégal. Edition Clair Afrique, Dakar, Sénégal, 2ème édition : 485p.
- Breman H, Kessler J-J. 1995.** Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions, with an emphasis on the sahelian countries. *Advanced Series in Agricultural Sciences*, Vol. 23, Springer Verlag, Berlin, Germany, 311-341.
- Brown S., Gillespie A. J. R., Lugo A. E. 1989.** Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.*, **35** (4), 881-902.

- Brown S. 1997.** -Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO, forestry paper Rome, Italy. 134 p.
- Carvalho C. R., De Ferreira M. C., Amorim S. S., Hellen R., Catarine J., Assis S., De Rosa L. H. 2019.** Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi. Role of Fungi in Climate Change Abatement Through Carbon Sequestration, vol 3 *Perspect* (October), 303–361.
- Cathala M. 2000.** Intégration de l'arbre dans les systèmes agraires au travers de la filière pépinières-plantations: Bassin arachidier du Sénégal. UCAD. Dakar. 57p.
- Charahabil M. M., Lo M., Bassène E., Akpo L. E. 2008.** Caractéristiques de la flore et Végétation ligneuses de forêts communautaires de la zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Journal des Sciences et Technologies* vol. 6 n° 2 : 72-85.
- CEDEAO. 2015.** Evaluation des ressources forestières dans l'espace CEDEAO. Retrieved from : http://www.ecreee.org/sites/default/files/documents/basic_page/rapport_regional_evaluation_des_ressources_forestieres_dans_lespace_cedeao.pdf, consulté le 12 janvier 2020.
- CE-FAO. 2000.** -Collecte et analyse pour l'aménagement durable des forêts - joindre les efforts nationaux et internationaux. Programme de partenariat (1998-2000) / Projet GCP/INT/679/EC - Le développement du secteur forestier en Afrique de l'Ouest : analyse critique de la situation dans les zones sèches et défis à l'horizon 2020. Maïga, A - novembre 1999. 98p.
- Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A., Chidumayo E., Colgan M. S., Delitti W. B. C., Vieilledent G. 2014.** -Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20 (10), 3177–3190.
- Darwin C. 2009.** -Biens et services écosystémiques, (commission européenne), 4p.
- DEFSE. 1996.** Le cycle du carbone et la forêt : de la photosynthèse aux produits forestiers. Michel CAMPAGNA, ing.f. M.Sc. Direction (Vol. 26). Bibliothèque nationale du Québec, 56p.
- Dessey N. 2006.** Dynamique de la végétation et du climat : étude par télédétection de cinq biomes brésiliens, forêt ombrophile dense et ouverte, cerrados, caatinga et campanhagaúcha. Thèse de doctorat, Université Paris X, Nanterre. 362p.
- Diallo A. 2013.** étude monographique de la commune de Guinguinéo (mémoire de fin d'étude du CAEM), Certificat d'Aptitude à l'Enseignement Moyen : université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), 41 p.
- Diatta L. 2013.** Contribution à la connaissance de l'état, de la dynamique et des services éco-systémiques du parc agroforestier à *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. Dans la communauté rurale de Réfane/Région de Diourbel, Sénégal. Mémoire de Master, Faculté des Sciences et Techniques, Institut des Sciences de l'Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, p. 76.

- Diedhiou M. A. A., Faye E., Ngom D., Fall S. 2018.** Caractérisation de La Flore et de La Végétation Ligneuse Des Terroirs Villageois De Keur Birame (Kaffrine) Et Saré Yorobana (Kolda) Au Sénégal. *European Scientific Journal, ESJ*, **14** (21), 391.
- Dieng B. 2006.** Etude de modes de régénération de deux espèces forestières: *Combretum glutinosum* Engl. E Diels. et *Faidherbia albida* (Del.)A.Chev dans le Bassin arachidier du Sénégal. Master en Sciences et Technologie, ENGREF, Montpellier, 112 p.
- Diouf, J., Mbaye M. S., Camara A. A., Dieng B., Diouf N., Sarr M., Noba K. 2019.** Structure et dynamique de la flore et la végétation de la réserve spéciale botanique de Noflaye (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **13** (3), 14-58.
- Donfack P. 1998.** Végétation des jachères du Nord-Cameroun : typologie, diversité, dynamique, production. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Yaoundé 1, Faculté des sciences, Mention Biologie et Physiologie végétale, Yaoundé, 225 p.
- FALL A. 2017.** « Du Ferlo au Bassin arachidier (Sénégal) : analyse de la composition Floristique de la végétation envisagée comme ressource et comme indicatrice des changements socio-environnementaux », *Physio-Géo*, 65-91p [En ligne], Volume 11 | 2017, mis en ligne le 28 avril 2017, consulté le 05 novembre 2019. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/5265>.
- FAO. 1992.** Foresterie en zones arides - Guide à l'intention des techniciens de terrain. Retrieved from <http://www.fao.org> , consulté le 11/02/2020.
- FAO. 2001.** Les arbres hors forêt : bibliographie annotée. Rome, FAO. 155 p.
- FAO. 2017.** Strengthening sector policies for better food security and nutrition results, 32 Rome. www.fao.org/3/a-i7215e.pdf, consulté le 11/02/2020.
- FAO. 2018.** La situation des forêts du monde. Les forêts au service du développement durable, 158p.
- FAO/UNECE. 2013.** Etat des forêts méditerranéennes, biens et services fournis par les Écosystèmes forestiers méditerranéens. Production ligneuse dans les forêts de la région méditerranéenne, 54p.
- Frontier S., Pichod-Viale D. 1995.** -Écosystèmes : Structure, Fonctionnement, Evolution, 447 p.
- Gamon J. A., Somers B., Malenovský Z., Middleton E. M., Rascher U., Schaepman M. E. 2019.** Estimation du stock de carbone organique dans les plantations d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. Des forêts classées de Pahou et de Ouèdo au Sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **13** (1) : 277-293.
- Glèlè Kakai R, Bonou W. L. A. 2016.** -Approche méthodologique de construction et d'interprétation des structures en diamètre des arbres. *Annales Des Sciences Agronomiques*, **20** : 99–112.
- GIEC. 2001.** Bilan 2001 des changements climatiques: mesures d'atténuation. Rapport du groupe de travail III du GIEC, 215p.

- GIEC. 2007.** -Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A., Genève, Suisse, 103 p.
- Goreaud F. 2000.** Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et à la modélisation des peuplements complexes. *Thèse de doctorat en Sciences forestières*. ENGREF. 362p.
- Guillaumet J. L., Laques A-E., Lena P., De Robert P. 2009.** -La spatialisation de la biodiversité : Pour la gestion durable des territoires. Nouvelle édition [en ligne]. Montpellier : IRD Éditions, 2009 (généré le 23 juillet 2016). Disponible sur Internet : ISBN : 9782709918008.consulté le 16/01/2020.
- Henry M., Picard N., Trotta C., Manlay, R. J., Valentini R., Bernoux M., Saint-Hufty A. 2011.** - Presses Université Laval. «Classification des climats de Köppen » dans Introduction à la climatologie: Le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine, page 12.
- Henry M., Bombelli A., Trotta C., Alessandrini A., Birigazzi L., Sola, G., Saint-André L. 2013.** GlobAllomeTree: International platform for tree allometric equations to support volume, biomass and carbon assessment. *IForest*, **6** (6), 326–330.
- ISRA., 2008.** Caractérisation et typologie des exploitation agricoles familiales du Sénégal. ISRA - Etudes et Documents - Volume 8, n° 3. 37p.
- Joyard J., et Sommeria J. 2019.** Un cycle du carbone perturbé par les activités humaines, 12. Retrieved from <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/cycle-du-carbone>, consulté le 02/12/2019.
- Judd W. S., Campbe C.S., Kellogg E. A., Stevens P. 2015.** -Plant Systematics. A phylogenetic Approach, fourth edition, oxford : oxford university press, Binding: Paperback. 565 p.
- King D.A., 1996.** -Allometry and life history of tropical trees. *J. Trop. Ecol.*, **12** (1), 25-44. **Kombate B., Dourma M., Folega F. et Woegan A. Y. 2019.** Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo Résumé, **15** (2), 70–79.
- Kooke G. X., Ali R. K. F. M., Djossou J.-M., Toko Imorou I. 2019.** Estimation du stock de carbone organique dans les plantations d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. des forêts classées de Pahou et de Ouèdo au Sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **13**(1), 277-293.

- Lebrun J.P. et Stork A. L. 2015.** énumération de plantes à fleurs d’Afrique tropical. Conservatoire du jardin botanique de Genève, vol.7, 712p.
- Lericollais A. 1989.** -La mort des arbres à Sob, en pays Sereer (Sénégal). In Tropiques, Lieux et Liens, Editions ORSTOM, Paris, 187-197.
- Loum M. 2009.** -Touba, mémoire de fin d’étude Evaluation des impacts sociaux de la gestion de l’eau potable sur la population dans les quartiers périphériques de, école nationale d’économie appliquée Sénégal,. Ecole nationale d’économie appliquée Sénégal, 98p.
- Mama A., Sinsin B., De Cannière C., Bogaert J. -2013.** Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, **31**(1), 78–88.
- Mandal R.A., Diatta I. C., Jha P. K., Karmacharya S. 2013.** Relationship between carbon stocks and plant biodiversity in collaborative forest in Terai . Nepal. *ISRN Bot.* 2013, 7p.
- Marcon, E. 2010.** -Mesures de la biodiversité, 58p.
- Marone D. 2015.** -Étude du potentiel de stock de carbone d’espèces agroforestières et de leurs traits fonctionnels en lien avec les systèmes d’utilisation des terres au Sénégal. Thèse de Doctorat en Sciences forestières. Québec: Université LAVAL, 188p.
- Mbaye T. 2010.** « Pressions anthropiques et évolution des massifs forestiers en haute Casamance (Sénégal) : Dynamique des ressources ligneuses après coupe dans la forêt communautaire aménagée de Sare Gardi (Kolda) ». Thèse de 3^{ème} cycle, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar. 235p + annexes
- Mbaye T., Ly M. O., Kaire M., Ndiaye P. 2014.** Caractérisation des méthodes de coupe de bois dans les zones aménagée et non aménagée en Haute Casamance, Sénégal, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **8**(6) : 2470-2477.
- Mbaye T., Ly M. O., Kaire M., Ndiaye P. 2015.** Caractérisation des espèces ligneuses soumises à des pressions en Moyenne Casamance, Sénégal. *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. **28**: 4356-4365.
- Mbow C. 2009.** Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudanienne et soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1-319.
- Mcghee W., Saigle W., Padonou E. A., Lykke A. M. 2016.** -Méthodes de calcul de la biomasse et du carbone des arbres en Afrique de l’Ouest. *Annales Des Sciences Agronomiques* , 20, 79–98.
- MEPN 1997.** Communication Initiale du Sénégal à La Convention-Cadre des Nations-Unies Sur les changements climatiques, 118P.
- MEPN 1998.** Loi n°9803 du 8 janvier 1998 et décret 98164 du 20 février 1998 portant Code Forestier, 39p.

- MEPN. 2006.** Titan:db by Aurelius. Schema and Data Modeling:1-105.
- MEPN 2014.** Cinquième rapport national sur la mise en œuvre de la convention internationale sur la diversité biologique, 104p.
- MEPN 2010.** Quatrième rapport national sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique. 132p.
- Ndiaye O., Diallo A., Matty F., Thiaw A., Fall R. D., Guissé A. 2012.** Caractérisation des sols de la zone des Niayes de Pikine et de Saint Louis (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **6**: 519- 528.
- Ndong J.-B. 1995.** L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement / The evolution of rainfall in Senegal and the consequences of the recent drought on the environment. *Revue de Géographie de Lyon*, **70** (3), 193–198.
- Ngom, D., Fall T., Sarr, O., 2013.** Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord Sénégal). 17p.
- Nibéron C. 2016.** La séquestration du carbone dans les sols, 11. Retrieved from <http://www.france-science.org/La-sequestration-du-carbone> (PDF), 3p. Consulté le 22 décembre 2020.
- ONANA J., DEVINEAU J-L. 2002.** *Azelia africana* Smith ex Persoon dans le Nord-Cameroun. Etats actuel des Peuplements et utilisations pastorale. *Revue Elev. Méd. vét. Paystrop.*, vol. **55** n°1 : 39-45.
- PAFR. 2004.** -Plan d'action forestier régional de Diourbel 2005 - 2009 (Version actualisée), 13p.
- Panzou G. J. L. Doucet, J. L., Loumeto, J. J., Biwole A., Bauwens S., Fayolle A., 2016.** Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, **20**(4), 508–522.
- PAPSEN., 2015.** - étude préliminaire sur l'horticulture dans les régions de Thiès, Diourbel et Fatick, Rapport n° 12, 177 p.
- Peltier R., Forkong C. N., Ntoupka M., Manley, R. J., Henry M., Morillon V. 2007.** Évaluation du stock de carbone et de la productivité en bois d'un parc à karités du Nord-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, **294** (4): 39-50.
- Peters C. M. 1997.** Exploitation soutenue de produits forestiers autre que le bois en forêt Tropicale humide: Manuel d'information d'écologie, programme d'appui à la biodiversité, N°2, corporate press, in Landover M.D, 49p.
- PNDL., 2019.** -Plan local de developpement de la communaute rurale de ndiago, 1-73.
- Plit F. 1983.** La dégradation de la végétation, l'érosion et la lutte pour protéger le milieu naturel en Algérie et au Maroc. Méditerranée, **49** (3) : 79–88.

- Piélou E. C. 1966.** -The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- Poupon H. 1980.** Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. ORSTOM éd. (Etudes & Thèses), Paris : 307p.
- PRDI 2008.** Plan Régional de Développement Intégré (PRDI) horizon 2008-2012 Région de Diourbel. Vol. 1(1).Senagrosol-consult. 100p.
- Quentin H. 2018.** Végétal (écologie, philosophie et éthique), 8p.
- Ramade F. 2003.** Eléments d'Ecologie : Ecologie fondamentale. 3ième édition, Dunod, Paris : 690p.
- Rocklin D. 2013.** Mémoire, d'Initiation à la Recherche Etude comparative de différents indices de diversité (indice de Shannon, indices taxonomiques) sur les peuplements de poissons lagunaires- Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes, 48p.
- Rondeux J. 1993.** La mesure des arbres et des peuplements forestiers : Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 521p.
- Schütz J. P. 1997.** Sylviculture 2 : la gestion des forêts irrégulières et mélangées, PPUR presses polytechniques, 178p.
- Sadio S., Dione M., Ngom S., 2000.** -Région de Mbacké:Gestion des Ressources forestières et de l'Arbre. Dryland Research 17 Market Square, Crewkerne. Somerset TA18 7LG Royaume Uni. 34p.
- Sadio S., Dione M., & Ngom S., 2000.** -Région de diourbel : gestion des ressources forestières et de l'arbre. *Drylands Research*, 23.
- Saïdi S., Louppe D., Le Bel S., 2018.** Approcher la densité des ligneux par l'indice perpendiculaire de végétation : cas d'une savane arborée au nord de la Tanzanie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 337 : 39-51.
- Sarr O., Bakhom, A., Diatta, S., Akpo I. E., 2013.** L'arbre en milieu soudano-sahélien dans le bassin arachidier (centre-sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, 61 (0), 4515.
- Sarr O. 2013.** Gestion des ligneux fourragers dans un axe de transhumance de saison sèche au Sénégal (cas de la région de kaffrine), *thèse : doctorat*, université Cheikh Anta Diop de Dakar, 107p.
- Suty L. 2015.** Les végétaux, les relations avec leur environnement, Versailles : Quae.
- Sène A. 2010.** La problématique de la gestion des ressources naturelles de la communauté rurale de Ndiaffate, thèse Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 152p.
- Sène A. 2004.** Dynamique et gestion paysanne des parcs agroforestiers dans le bassin arachidier du Sénégal. ICRAF (International Center for Research in Agroforestry), 18 p.

- Singh M. H. 2007.** Soil Organic Carbon Pools in Turfgrass Systems of Ohio. Rapport de Master, Environment Science Graduate Program. The Ohio State University, 141 p.
- Shannon C. E. et W. Weaver. 1949.** The mathematical theory of communication by Claude E. Shannon and Warren Weaver, the University of Illinois Press. Urbana. 1964. Copyright 1949 by the Board of Trustees of the University of Illinois. Manufactured in the United States of America. Library of Congress Catalog Card No. 49-11922. 132p.
- Tremblay F. M., Bergeron Y. L. D., Y, M. 2002.** The sexual effects of potential reproduction and seedling recruitment on the maintenance of red maple (*Acer rubrum* L.) populations at the northern limit of the species range. *Journal of Biogeography*, 29.
- Trochain J. 1942.** -Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. In: Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon, 11^e année, n°9, novembre 1942. pp. 131-133.
- Thiombiano A. 2005.** Les Combretaceae du Burkina Faso : taxonomie, écologie, dynamique et régénération des espèces. Thèse d'état. Université de Ouagadougou, Burkina Faso (2005), Université de Ouagadougou, 290 p.
- UICN., 2014.** -Panorama des services écologiques fournis par les écosystèmes français – étude de cas : les écosystèmes marins et côtiers d'Aquitaine. Paris, France. <http://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/08/CRA-BIODIV-PLAQUETTE1-web.pdf> ((Document consulté le 07/10/2019).
- WAGUE D. 2016.** Caractérisation de la végétation ligneuse et évaluation du stock de carbone selon un gradient pluviométrique dans le bassin arachidier (Sénégal). 65p.
- William M. C. 1997.** -Le Changement Climatique, les Forêts et l'Aménagement Forestier: Aspects Généraux. (1997th ed.). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome. <http://www.fao.org/3/v5240f/v5240f00.htm#Contents>, consulté le 22/11/2019.