

# **Biodiversité Et Structure Des Ligneux De La Forêt Classée De Maka Diama Dans Le Delta Du Fleuve Sénégal**

***Ousmane Thiam,***

Agence d'exécution des Travaux d'Intérêt Public - Agence pour la Promotion des Investissements et des Grands Travaux (AGETIP- APIX), Sénégal

***Moustapha Bassimbé Sagna,***

Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar- Sénégal

***Aly Diallo,***

Département d'Agroforesterie, Université Assane Seck, Ziguinchor-Sénégal

***Oumar Sarr,***

***Daouda Ndiaye,***

***Aliou Guisse,***

Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar- Sénégal

Doi:10.19044/esj.2020.v16n21p269 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n21p269](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n21p269)

---

## **Résumé**

Le barrage anti-sel de Diama, érigé dans la zone centrale du delta du fleuve Sénégal, a créé de profondes mutations au niveau de l'environnement de la vallée. La Forêt Classée de Maka Diama (FCMD), aménagée au niveau de ce delta en 1934 par l'administration coloniale n'est pas épargnée. La présente étude fait l'état de lieux de la forêt, elle décrit la composition floristique et la structure des ligneux. La base de sondage a été des images satellitaires indiquant les différentes entités écologiques de cette forêt. La végétation ligneuse a été caractérisée par inventaire suivant une approche dendrométrique. Les résultats de cette étude montrent que la FCMD présente une biodiversité relativement faible avec 13 espèces appartenant à 11 genres et 9 familles. L'espèce *Acacia tortilis* var. *raddiana* (Savi) Brenan (39,67 %) est la plus abondante, elle est suivie de *Salvadora persica* L. (16,99%) et de *Tamarix senegalensis* DC (12,13 %), *Euphorbia balsamifera* Ait. (11,21 %) et *Prosopis juliflora* (SW.) (10,38 %). La présence de *T. senegalensis* considéré comme un indicateur de salinité, pourrait aussi expliquer cette faible biodiversité des ligneux. La FCMD est globalement arbustif. C'est un bassin versant constitué d'une relique de savane arborée au centre du bassin qui

constitue son noyau (F1) et qui évolue en une steppe arbustive vers la périphérie (F3). Avec la diversité des activités menées autour de la forêt, il semble indispensable de prendre des mesures appropriées de limitation ou d'interdiction d'accès, dans l'intérêt de la protection de la biodiversité.

---

**Mots clés :** Biodiversité, Forêt Classée, Maka Diama, Flore, Ligneux

---

## **Biodiversity and Woody Structure of the Classified Maka Diama Forest in the Senegal River Delta**

***Ousmane Thiam,***

Agence d'exécution des Travaux d'Intérêt Public - Agence pour la Promotion des Investissements et des Grands Travaux (AGETIP- APIX), Sénégal

***Moustapha Bassimbé Sagna,***

Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar- Sénégal

***Aly Diallo,***

Département d'Agroforesterie, Université Assane Seck, Ziguinchor-Sénégal

***Oumar Sarr,***

***Daouda Ndiaye,***

***Aliou Guisse,***

Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar- Sénégal

---

### **Abstract**

The Diama anti-salt dam, built in the central zone of the Senegal River delta, has created profound changes in the environment of the entire valley. The Maka Diama Classified Forest (FCMD), developed at the level of this delta in 1934 by the colonial administration is not spared. This study presents an inventory of the forest, describing the floristic composition and structure of ligneous trees. The sampling frame was satellite images showing the different ecological features of this forest. Woody vegetation was characterized by inventory using a dendrometric approach. The results of this study show that the FCMD has a relatively low biodiversity with only 13 species belonging to 11 genera and 9 families. *Acacia tortilis* var. *raddiana* (Savi) Brenan (39.67%) is more abundant, followed by *Salvadora persica* L. (16.99%), *Tamarix senegalensis* DC (12.13%), *Euphorbia balsamifera* Ait. (11.21%) and *Prosopis*

juliflora (SW.) (10.38%). The presence of *T. senegalensis*, considered as an indicator of salinity, could also explain the low plant biodiversity observed on ligneous trees. The FCMD is generally shrubby. It is a catchment area made up of a relic of savannah trees in the centre of the basin which constitutes its nucleus (F1) and which evolves towards a shrub steppe towards the periphery (F3). With the diversity of activities carried out around the forest, it seems essential to take appropriate measures to limit or prohibit access, in the interest of protecting biodiversity.

---

**Keywords:** Biodiversity, Forest Classified, Maka Diama, Flora, Woody

### **Introduction**

La dégradation des écosystèmes forestiers est une des causes principales de réduction de la biodiversité dans le monde (Oszwald, 2005). Si au niveau global, les pertes forestières pour la période 2005-2010 étaient de 0,14% par an, l'Afrique de l'Ouest se distingue par un taux de déboisement estimé à 0,46%/an (FAO, 2010 cité par Abdourahmane et al., 2013). Le Sénégal est l'un des pays particulièrement touché par ce phénomène. Dans le delta du fleuve Sénégal, la dégradation des forêts est visiblement due, comme partout dans le monde, aux facteurs anthropiques et aux changements climatiques (Tiepolo, 2012 ; Ndao, 2012). En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques années au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde (Sultan et al., 2001). C'est dans ce contexte que l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) a érigé le barrage de Diama dans le delta en vue de gérer le bassin versant du fleuve Sénégal (Ndiaye, 2003). La mise en place de cette infrastructure structurante a complètement modifié le fonctionnement naturel du fleuve et ses environs biophysiques immédiats. En effet, avant cette date, la langue salée remontait en période d'étiage le fleuve Sénégal et pouvait arriver à plus de 200 km de l'embouchure (Gac et al., 1990 ; Kane, 1997). Le barrage anti-sel de Diama, érigé dans la zone centrale du delta du fleuve Sénégal, a créé de profondes modifications au niveau de l'environnement de toute la vallée du point de vue physique (Kane, 1997 ; Humbert et al., 2005). Sur le plan socioéconomique, les résultats escomptés des aménagements (développement des cultures irriguées, autosuffisance alimentaire, aménagements des terres, production hydroélectrique, etc.) sont en deçà des prévisions malgré des investissements massifs (Seck, 1991 cité par Ndiaye, 2003).

Compte tenu des plans et programmes de développement agricole en cours dans le delta du fleuve Sénégal notamment du nouveau schéma hydraulique du Delta appelé « recouplement des méandres », il y a lieu de

craindre un conflit d'intérêt entre la fonction de maintien de l'équilibre écologique et l'avidité de nouvelles terres pour l'agriculture. Dès lors, il est important de préserver ces forêts vu les fonctions écologiques qu'elles jouent dans la protection des eaux, des sols de la zone et dans la réduction de l'énergie des crues.

Face à l'importance affichée par cette forêt, il devient important, avant de poser des actions de restauration de connaître sa composition, sa structure et surtout sa dynamique. Ainsi, faire un état des lieux constitue un préalable pour proposer un plan de gestion durable de la forêt. L'étude de la végétation ligneuse de la forêt est notre première démarche. Elle a pour objectif de décrire sa composition floristique et la structure de son peuplement ligneux.

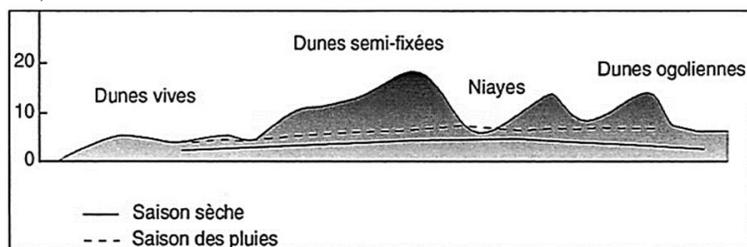
## Matériel et méthodes

### Présentation de la zone d'étude et de la forêt de Maka Diama

La zone d'étude se trouve dans le Delta du fleuve Sénégal au niveau de la zone d'influence du barrage de Diama dans le delta côté sénégalais. Soit une zone comprise entre 15°50 et 16°25 de longitude Ouest et entre les latitudes 16°10 et 17° Nord. Elle constitue la partie septentrionale de l'écosystème des Niayes.

Le climat de la zone est de type sahélien (Sagna et al., 2016). Cependant, la région des Niayes bénéficie d'un microclimat assez particulier par rapport aux autres parties du pays qui se situent dans les mêmes zones climatiques qu'elle. Elle est caractérisée par des températures modérées influencées par la circulation des alizés maritimes soufflés par les courants froids des Açores. Les précipitations sont peu abondantes, elles dépassent rarement 500 mm dans cette zone. La température mensuelle moyenne la plus chaude oscille autour de 28,1°C à Saint-Louis (Cissé et al., 2001).

Au plan géomorphologique, les Niayes sont des dépressions interdunaires dans lesquelles affleure ou sub-affleure la nappe phréatique des sables quaternaires (figure 1). Cette spécificité fait des Niayes des milieux atypiques de la région sahélienne (Cissé et al., 2001 ; Duvail et al., 2001 ; Ndao, 2012).



**Figure1.** Géomorphologie des Niayes (Cissé et al., 2001)

La végétation ligneuse des Niayes est caractérisée par un brassage entre une végétation de type sahélienne et guinéenne. Dans le système de dunes rouges ogoliennes, des Niayes de Saint-Louis dominent les espèces ligneuses comme *Parinaris macrophyla* Sabine, *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp *raddiana* Savi., *Acacia seyal* (Delile) P.J.H.Hurter, *Balanites aegyptiaca* (L) Del *Euphorbia balsamifera* Ait., *Guiera senegalensis* J.F. Gmel., et *Combretum glutinosum* Perr. Ex DC. Dans les Niayes proprement dit, domine une espèce typiquement guinéenne qu'est *Elaeis guineensis* Jacq. et une bonne représentation de *Cocos nucifera* L (Cissé et al., 2001).

Le contexte socio-économique du delta est fortement marqué par la présence du fleuve Sénégal qui conditionne quasiment l'ensemble des activités socio-économiques. C'est ce même contexte qui a justifié et présidé à la mise en place des aménagements hydro agricoles qui aujourd'hui encore n'ont pas fini d'attirer les populations de l'intérieur du pays tout en continuant de façonner l'environnement du delta et les conditions de vie (Handschumacher et al., 1992). Différentes activités socio-économiques sont pratiquées dans le delta du fleuve Sénégal. L'agriculture avec l'élevage et la pêche restent les principales activités économiques du delta sénégalais même si les activités secondaires et notamment tertiaires tendent à se développer avec l'installation de quelques unités industrielles, autour de centres urbains en devenir à l'instar de Ross Béthio, Rosso et Richard Toll, qui peuvent aujourd'hui représenter le maillon de base d'une agropole économique au nord du Sénégal.

La forêt de Maka Diama (figure 2) est l'une des réserves naturelles de cette zone. Selon les Archives Nationales Sénégalaises (ANS), elle a été classée en 1934 par les colonisateurs français dont la volonté était de créer des réserves pour les végétaux rares et leur conservation dans un espace de 1500 ha pour le futur. Ces mêmes sources précisent qu'en 1936, elle a été étendue pour atteindre sa superficie actuelle de 2290 ha.

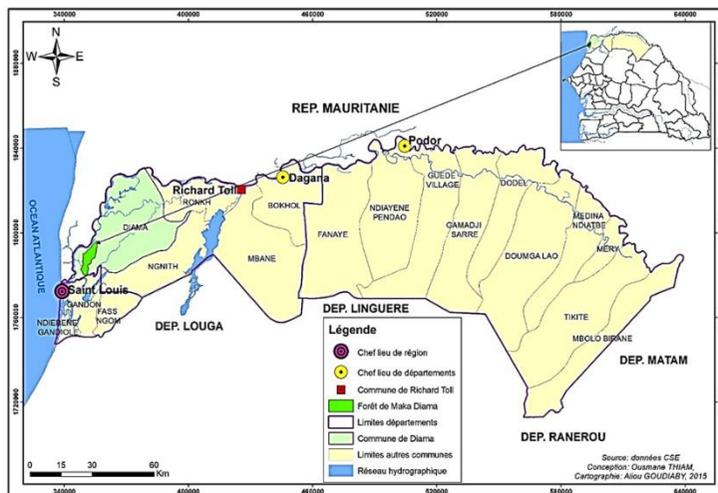


Figure 2. Localisation de la FCMD à l’intérieur du Sénégal (CSE, 2015)

## Matériel et méthode

### La base de sondage

La base de sondage a été établie grâce à une recherche documentaire (consultation des archives créant la forêt de Maka Diama, collecte de données cartographiques, exploitation d’images satellitaires de la zone). L’analyse de la carte des différentes classes informatiques de la FCMD (figure 3) a permis d’identifier huit entités écologiques. Elle présente la situation de la végétation à la date du 24 novembre 2015.

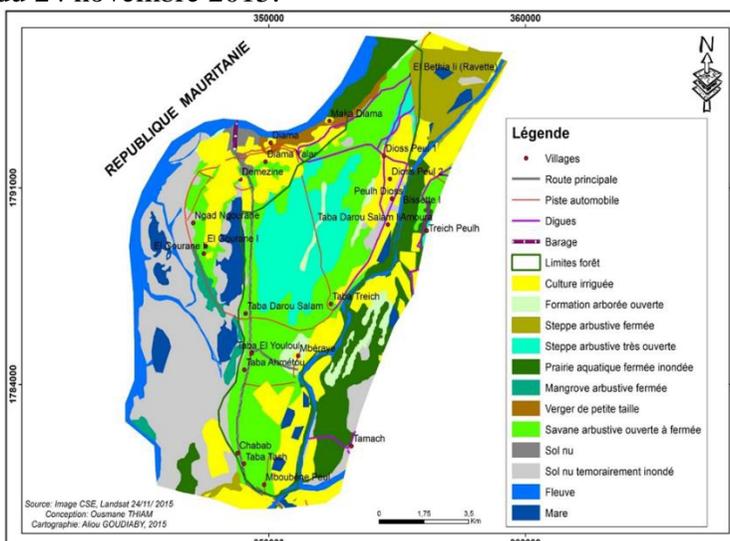


Figure 3. Les différentes classes informatiques de la FCMD (CSE, 2015)

Après la visite de prospection, quatre formations végétales terrestres ont été retenues. Il s’agit de la steppe:

- arborée ouverte dénommée formation végétale 1 (F1) ;
- arbustive très ouverte dénommée formation végétale 2 (F2) ;
- arbustive ouverte à fermée dénommée formation végétale 3 (F3) ;
- arbustive fermée dénommée formation végétale 4 (F4)

Les autres formations (les zones de culture, les vergers, les prairies aquatiques et les zones de mangrove) qui n'entrent pas dans le cadre de l'étude ne sont pas retenues.

### **Étude de la végétation**

La technique adoptée pour étudier la végétation ligneuse est le relevé dendrométrique. La surface d'échantillonnage retenue a été de 0,25 ha soit un carré de 50 m de coté comme le préconise (Boudet, 1984) en zone sahélienne. Les placettes d'inventaire sont géo référencées par un GPS. L'échantillonnage a été effectué de façon stratifiée car il considère l'ensemble des formations retenues. À l'intérieur de chaque formation, la distance entre les relevés de végétations est de 500 m.

Dans chaque placette d'inventaire, tous les ligneux ont été identifiés puis mesurés. Il est important de signaler qu'un arbre dont le diamètre du tronc ne fait pas 3,5 cm n'est pas mesuré ; il est considéré dans ce cas comme une régénération. Les mesures dendrométriques des arbres ont concerné la hauteur totale (Ht), le diamètre des troncs à 0,30m du sol (D 0,30) et le diamètre du houppier (G). Les individus de régénération sont comptés par espèce dans chaque placette.

Les noms scientifiques des espèces ont été transcrits à l'aide du manuel Flore du Sénégal (Bérhaut, 1979), actualisés d'après l'énumération des Plantes à Fleurs d'Afrique Tropicale (Lebrun et Stock, 1991-1997). En fonction de l'étendue de la forêt (égale à 2290 ha) et de chaque formation, un nombre de trente (30) placettes de 0,25 ha a été retenu. La superficie d'échantillonnage est de 7,5 ha soit un taux de sondage de 0,32 %. Il est calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux de sondage} = \frac{\text{Surface échantillonnée}}{\text{Surface Totale}} \times 100$$

### **Traitement des données**

La richesse spécifique totale est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné. La liste floristique est dressée suivant les différents groupes taxonomiques (familles, genres, espèces).

La densité observée ou densité réelle est obtenu par le rapport de l'effectif total des individus dans l'échantillon (Ni) par la surface échantillonnée (S) (Ngom et *al.*, 2013).

$$Dob = \frac{Ni}{S}$$

Ni = Effectif total des individus dans l'échantillon

S= Surface échantillonnée en hectare

La densité théorique (Dth) est obtenue à partir de la distance moyenne (dm) entre les arbres. Elle ne tient pas compte d'éventuelles irrégularités sur la parcelle, et de présence de zones sans arbres (Ngom et al., 2013).

$$Dth = \left(\frac{100}{dm}\right)^2$$

(100)<sup>2</sup>= L'équivalent d'un hectare

Le recouvrement (G) est estimé par le modèle circulaire de diamètre moyen des couronnes des arbres. Il est calculé à partir de la formule suivantes (Ngom et al., 2013).

$$G = \frac{\sum \pi \left(\frac{d_{mh}}{2}\right)^2}{S_E}$$

S= Surface échantillonnée en hectare

d<sub>mh</sub>= diamètre moyen du houppier en mètre (m)

S<sub>E</sub> = surface de l'échantillon considérée en ha.

Le taux de régénération (TR) du peuplement est donné par le rapport en pourcentage entre l'effectif total des jeunes plants (diamètre < 3,5 cm) et l'effectif total du peuplement (Ngom et al., 2013)

$$TR = \frac{\text{Effectif total des jeunes plants}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

L'importance spécifique de régénération (ISR) 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 (Ngom et al., 2013).

$$ISR = \frac{\text{Effectif total des jeunes plants d'une espèce}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

Le taux d'anthropisation (TA) est donné par le rapport en pourcentage entre l'effectif des individus ayant subis des dégâts (coupe, ébranchage, écorçage) et l'effectif total du peuplement (Gning, 2008).

$$TA = \frac{\text{Effectif des individus avec dégats}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

Le taux de mortalité est donné par le rapport en pourcentage entre l'effectif des individus morts sur pieds ou abattus et l'effectif total du peuplement (Gning, 2008).

$$TM = \frac{\text{Effectif total des individus morts}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

La structure du peuplement ligneux a été établie par la distribution des ligneux en classes de hauteurs et en classes de circonférences. La répartition des ligneux dans la forêt a été examinée par Analyse en Composante Principale (ACP) par le logiciel R.

## Résultats

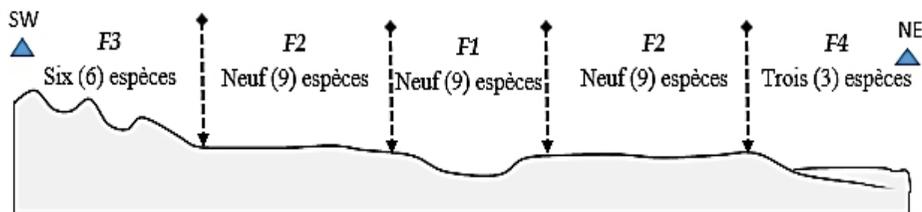
### Composition, importance floristique et distribution de la flore dans la FCMD

Les résultats de l'inventaire et de l'abondance relative des espèces sont présentés sur le tableau I.

**Tableau I.** Composition floristique et abondance relative des espèces de la forêt

Familles	Genre et espèce	Formation (%)				Forêt (%)
		F1	F2	F3	F4	
<i>Balanitacées</i>	<i>Balanites aegyptiaca</i> L (Del)	2,6	3,2	2,9	0	2,59
<i>Bombacacées</i>	<i>Adansonia digitata</i> L.	0	0,4	0	0	0,08
<i>Burseracées</i>	<i>Commiphora africana</i> (A.Rich.) Engl.	3,9	10,7	0	0	2,76
<i>Capparidacées</i>	<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.)	0,6	1,2	0,6	0	0,7
	<i>Cadaba farinosa</i> Forsk.	0	0	0,2	0	0,08
<i>Celastracées</i>	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.)	0	0	0	0,7	0,08
<i>Euphorbiacées</i>	<i>Euphorbia balsamifera</i> Ait.	0	22,6	30,5	0	11,21
<i>Mimosasées</i>	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Delile	11	0	0	0	1,5
	<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	1,3	1,4	2,5	0	1,84
	<i>Acacia tortilis</i> var. <i>raddiana</i> (Savi) Brenan	11	19,4	63,6	0	39,7
	<i>Prosopis juliflora</i> (SW.)	59,7	2,8	3,6	1,3	10,4
<i>Salvadoracées</i>	<i>Salvadora persica</i> L	7,1	38,1	14,5	3	16,9
<i>Tamaricacées</i>	<i>Tamarix senegalensis</i> DC	1,9	0	0	95,9	12,13

La FCMD présente 13 espèces regroupées en 11 genres et 9 familles réparties de façon plus ou moins déséquilibrée entre les différentes formations. La formation 4 est de loin la moins diversifiée (4 espèces). Les formations 1 et 2 sont plus diversifiées avec chacune 9 espèces suivies de la formation 3 avec 8 espèces. La répartition de la flore dans la FCMD serait mieux comprise lorsque l'on matérialise cette biodiversité sur un profil schématique SW-NE ; indiquant l'emplacement des différentes formations (figure 4).



**Figure 4.** Distribution de la biodiversité dans la forêt classée de Maka Diama

Il est toutefois important de signaler la présence d'une espèce inventoriée dans la régénération. Il s'agit de *Ziziphus mucronata* Willd. Ce qui porte la biodiversité totale de la forêt à 14 espèces. Sur l'ensemble des 13 espèces ligneux adultes recensées dans la forêt, seules deux sont communes aux 4 formations végétales. Il s'agit de *S. persica* et de *P. juliflora*. Les trois formations (1, 2 et 3) partagent un plus grand nombre d'espèces par rapport à la formation 4 qui est quasiment mono spécifique avec 95,94 % de *T. senegalensis*.

Dans la FCMD, l'espèce *A. raddiana* (39,67 %) est plus abondante. Sa population est cependant plus importante dans la formation 3 (63,65%). Elle est suivie de *S. persica* (16,99%) dont la population est plus importante dans la formation 2 (38,09 %). Trois autres espèces en l'occurrence *T. senegalensis* (12,13 %), *E. balsamifera* (11,21 %) et *P. juliflora* (10,38 %) viennent après les deux premières citées. Leurs populations sont toutefois plus abondantes respectivement dans les formations 4, 3 et 1.

Les autres espèces sont représentées dans la forêt sur des proportions inférieures à 10%. Les plus rares sont : *A. digitata*, *M. senegalensis*, *C. farinosa* représentées chacune sur une proportion de 0,08%.

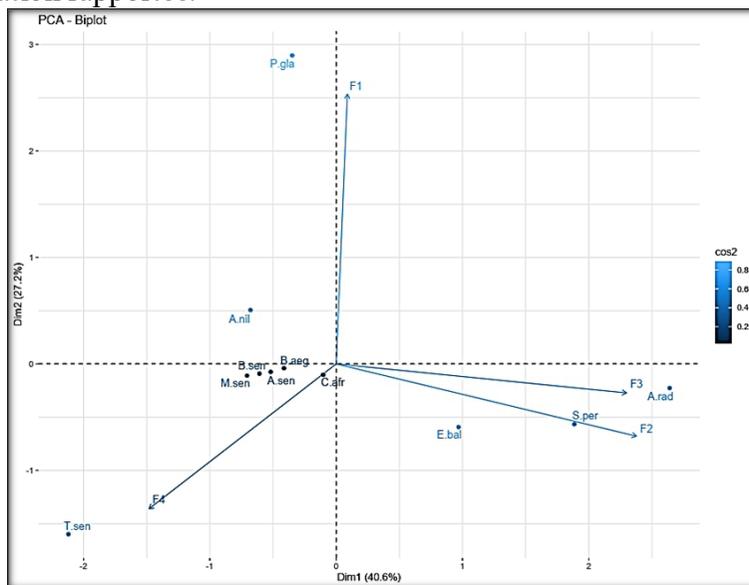
Vu l'inégalité de la répartition de la flore et de son importance entre ces quatre formations, un traitement complémentaire est effectué pour préciser davantage la distribution spatiale de cette flore ligneuse. Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été appliquée à la matrice nombre d'espèce-formation végétale. Il est cependant important de signaler que les espèces très peu représentées (faible contribution) n'ont pas été prises en compte ; puisqu'elles n'apportent pas d'informations significatives sur leur préférence écologique. Le tableau II montre la part de l'information contenue dans les quatre premiers axes de l'ACP.

**Tableau II.** Valeur propre et pourcentage de variance des 4 premiers axes de l'ACP

	<b>Dim1</b>	<b>Dim2</b>	<b>Dim3</b>	<b>Dim 4</b>
Inertie (%)	40,6	27,2	20,4	11,8
% cumulé	40,6	67,8	88,2	100

Dans cette analyse, le plan formé par les deux premières dimensions (Dim1 x Dim2) semble être le plus intéressant, puisqu'il absorbe le maximum

d'informations et explique 67,8% de la variation totale. La figure 5 résume l'information rapportée.



**Figure 5.** Répartition de quelques espèces du peuplement sur le plan factoriel formé par les deux premiers axes (Dim 1 et Dim 2)

L'ACP montre que les quatre entités écologiques de la FCMD bien qu'établies suivant des critères physiologiques présentent le sous-basement floristique suivant :

- la steppe arborée ouverte dénommée formation végétale 1 (F1) est corrélée aux coordonnées positives de la dimension 1 de l'ACP. L'espèce qui détermine la physiologie de cette formation est le *P. juliflora*. L'une des espèces strictement inféodée à cette formation est *A. nilotica* ;
- la steppe arbustive très ouverte, dénommée formation végétale 2 (F2) et la savane arbustive ouverte à fermée, dénommée formation végétale 3 (F3) sont des entités écologiques très proches. Elles sont corrélées aux coordonnées positives de la dimension 2 de l'ACP. Elles sont intensément colonisées par trois espèces *A. raddiana*, *S. persica*, *E. balsamifera*. Il est toutefois important de signaler la préférence nette de *A. raddiana* pour la F3 et de *S. persica* pour la F2 avec une présence plus régulière de *E. balsamifera* dans F3 par rapport à F2 ;
- et la steppe arbustive fermée, dénommée formation végétale 4 (F4), est corrélée aux coordonnées négatives des dimensions 1 et 2 de l'ACP. L'espèce caractéristique de ce faciès est *T. senegalensis*.

### Structure des ligneux de la réserve

#### Densité, recouvrement aérien et surface terrière

Les paramètres structuraux de la végétation ligneuse de la FCMD et des différentes formations étudiées sont consignés dans le tableau III.

**Tableau III.** Caractéristiques structurales des peuplements ligneux de la FCMD

Formation (F)	Ht moy. (m)	D <sub>0,3</sub> moy (cm)	Densité		Recouvrement	
			Dr (Nbr ind ha <sup>-1</sup> )	Dth (Nbr ind ha <sup>-1</sup> )	G (%)	ST (m <sup>2</sup> h a <sup>-1</sup> )
<b>F1</b>	5,6	14,92	106	308,53	54,2	13,3
<b>F2</b>	3,48	12,86	101,6	189,20	19,5	9,2
<b>F3</b>	2,98	11,47	239,64	415,30	34,4	8,2
<b>F4</b>	1,97	9,64	197,33	310,72	77,1	5,9
<b>Forêt</b>	<b>3,5</b>	<b>12,22</b>	<b>159,33</b>	<b>288,74</b>	<b>46,3</b>	<b>9,15</b>

(Ht= Hauteur totale ; D<sub>0,3</sub> = Diamètre des arbres à 0,3m du sol ; Dr = Densité relative ;  
Dth= Densité théorique ; G= Recouvrement aérien ; ST= Surface terrière)

La FCMD est globalement dominée par les arbustes stratifiés autour de 3,5 m avec un diamètre moyen de 12,22 cm. Dans la forêt, la formation 1 et la formation 2 sont plus matures car leur stratification verticale (5,6 m et 3,48 cm) horizontale (14,92 m 12,86 cm) respectivement est supérieure à la moyenne. La formation 4 est la plus jeune.

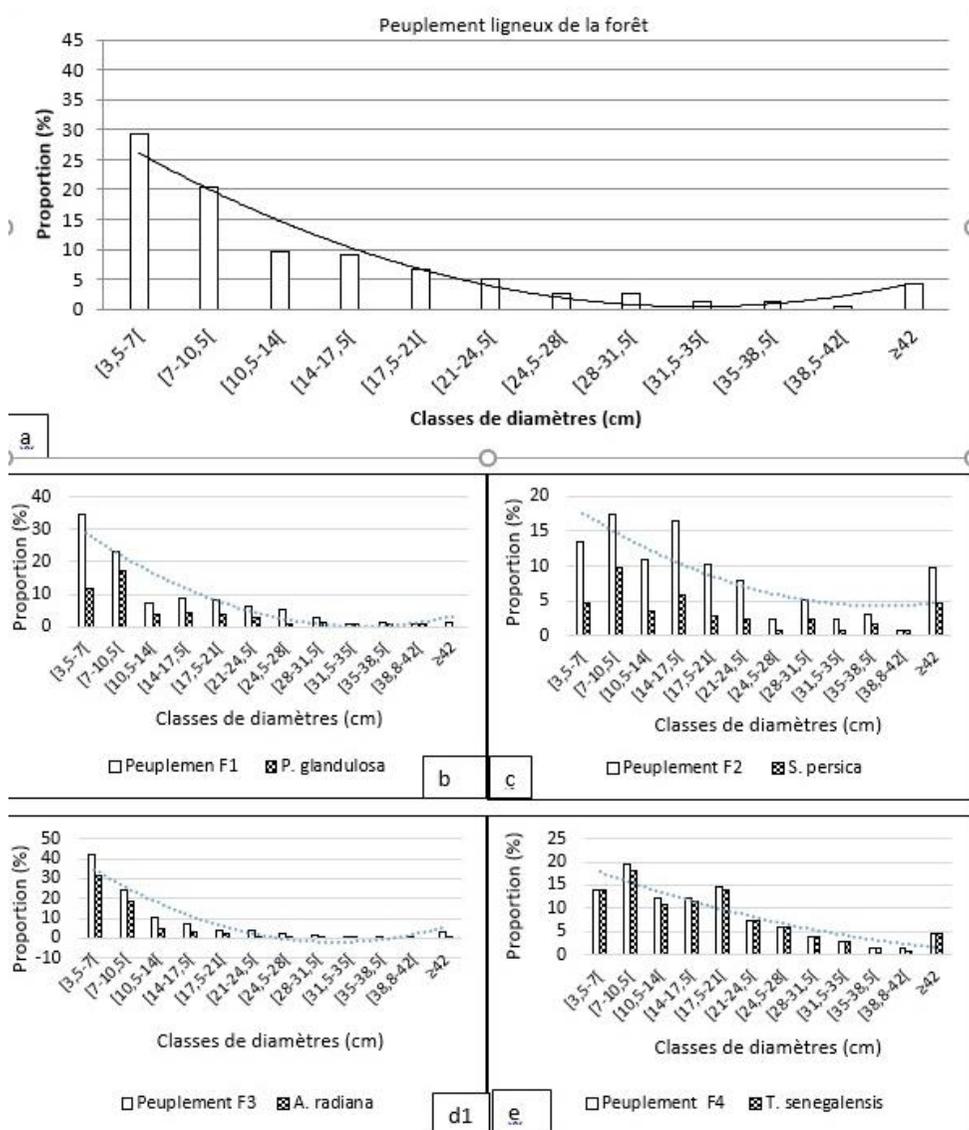
La densité moyenne de la végétation de la forêt est de 159 individus/ha (ind./ha). Cependant, la F3 (239,64 ind./ha) et la F4 (197,33 ind./ha) abritent la végétation la plus dense. Dans la forêt et dans toutes les quatre formations, la densité théorique est très supérieure à la densité réelle. Ce qui indique une tendance agrégative des ligneux. Ce phénomène d'agrégation des ligneux est plus important au niveau de la F1 où la densité théorique est trois fois supérieure à la densité réelle.

La FCMD est relativement bien couverte (46,3 %). Cependant, la F4 (77,1 %) et la F1 (52,2 %) sont les formations les mieux couvertes.

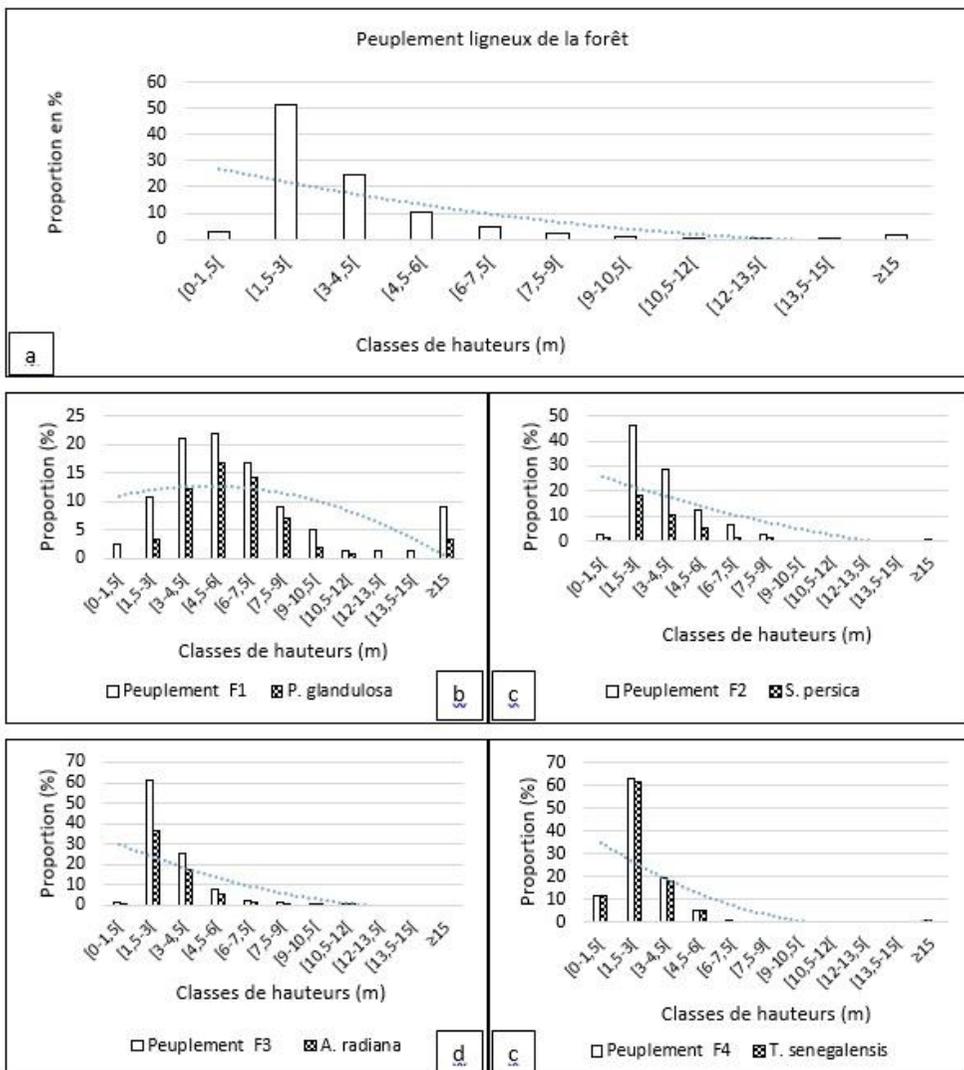
La surface terrière qui matérialise le volume de bois produit par la forêt est de 9,15 m<sup>2</sup>/ha. On note cependant à l'échelle des formations, une diminution progressive de la production de bois en allant de la F1 à la F3 correspondant à un gradient d'altitude. La F4 qui correspond au faciès à *Tamarix* a produit très peu de bois

### Structure en classes de diamètre et de de hauteur de la forêt

Les structures en classe de diamètre et de hauteur des ligneux de la forêt sont établies à travers des histogrammes. Les résultats sont présentés par les figures 6 et 7.



**Figure 6.** Distribution des arbres par classes de diamètres dans la forêt, dans les formations et de l'espèce la plus abondante par formation



**Figure 7.** Distribution des arbres par classes de hauteurs dans la forêt, dans les formations et de l'espèce la plus abondante par formation

À l'échelle de la forêt (figure 6a1), la structure des ligneux par classe de circonférence montre une distribution exponentielle décroissante et les effectifs se stabilisent plus ou moins dans les grandes classes de diamètre. Dans le peuplement des différentes formations (figure 6b1, 6c1, 6d1 et 6e1), ce même type de distributions a été observé à l'exception des peuplements des formations 2 et 4 où on remarque une légère déficience des individus de la première classe de diamètre. L'espèce la plus abondante de chaque formation présente une structure en classes de diamètre très proche à ceux de son peuplement. Leur contribution a été significative dans toutes les classes de diamètres.

La structure verticale des ligneux montre une distribution unimodale dans la forêt et dans toutes les formations. Une strate arbustive caractérise globalement la forêt et trois formations (2, 3 et 4) qui la constitue ; elle s'individualise autour de 1,5-3 m (figure 7a2, 7c2, 7d2 et 7e2). Dans la formation 1 par contre, une strate s'individualise entre 4,5-6 m (figure 7b2). C'est dans cette formation qu'on retrouve les plus grands arbres de la forêt. L'espèce la plus abondante de chaque formation, comme pour la structure en classes de diamètre, présente une organisation verticale très proche à celle de leur peuplement et leur contribution a été significative dans toutes les classes de hauteur.

### Taux de renouvellement et d'anthropisation de la réserve

L'indice spécifique de régénérescence est calculé sur le rapport du nombre d'individus d'une espèce de diamètre inférieur à 3,5 cm sur le nombre total des individus de l'espèce dans la formation. Il est exprimé en pourcentage. Les résultats sont étalés sur le tableau IV.

**Tableau IV.** Régénération et mortalité des ligneux de la forêt

Espèces	Indice spécifique de régénérescence (ISR)				
	Forêt	F1	F2	F3	F4
<i>A. raddiana</i>	43,54	53,74	62,64	39,01	0,00
<i>S. persica</i>	20,13	6,12	18,97	33,27	0,00
<i>T. senegalensis</i>	14,92	0,00	0,00	0,00	100,00
<i>E. balsamifera</i>	6,50	0,00	1,53	15,87	0,00
<i>A. senegal</i>	6,07	0,68	14,94	1,15	0,00
<i>P. juliflora</i>	4,00	28,57	0,19	2,49	0,00
<i>B. aegyptiaca</i>	3,00	0,00	0,19	7,84	0,00
<i>B. senegalensis</i>	1,57	9,52	1,15	0,38	0,00
<i>Cadaba farinosa</i>	0,14	1,36	0,00	0,00	0,00
<i>Z. micronata</i>	0,14	0,00	0,38	0,00	0,00
<b>Taux de régénération</b>	<b>53,51</b>	<b>48,51</b>	<b>67,27</b>	<b>44,25</b>	<b>58,54</b>
<b>Taux de mortalité</b>	<b>5,92</b>	<b>5,44</b>	<b>1,92</b>	<b>12,05</b>	<b>0,96</b>

Dans la FCMD, la régénération du peuplement a été évaluée par l'importance des jeunes plants (diamètre < 3,5 cm). Le taux de régénération du peuplement forestier est de 53,51%. Il varie d'une formation à l'autre. Il est plus élevé dans la formation 2 (67,27%) et dans la formation 4 (58,54%)

L'importance de la régénération en fonction des différentes espèces a été appréciée par le calcul de l'indice spécifique de régénération (ISR). L'examen du tableau IV montre que *A. raddiana* présente le meilleur potentiel de régénération de la forêt avec un ISR de 43,54%. Elle est suivie de *S. persica* (20,13%) et de *T. senegalensis* (14,92%). Ces trois espèces comportent 78,59% des jeunes plants inventoriés dans la forêt.

*A. raddiana* a présenté un fort ISR dans toutes les formations à l'exception de la formation 4. L'espèce *S. persica* avait surtout régénéré dans les formations 3 et 2 ; tandis que *T. senegalensis* n'a régénéré que dans la formation 4 où son ISR est de 100%. Certaines espèces bien qu'ayant un ISR faible à l'échelle de la forêt, ont considérablement régénéré dans certaines formations. Il s'agit de *P. juliflora* dans F1 (28,57%), *E. balsamifera* dans F3 (15,87%), et de *A. senegal* dans F2 (14,94%). Les autres espèces ont faiblement régénérées dans la forêt et à l'échelle des formations (*B. aegyptiaca*, *C. farinosa* et *Z. micronata*). Par contre, pour certains aucun rejet n'a été inventorié (*C. africana*, *M. senegalensis* et *A. digitata*).

Le taux de mortalité des ligneux est relativement faible dans la forêt (5,92%). Il est toutefois plus important dans les formations F3 (12,05%) et F1 (5,44%) où il est surtout lié au prélèvement de bois sur *A. raddiana* et *P. juliflora*.

## Discussion

### Diversité floristique de la forêt

La flore de la FCMD est relativement pauvre. Elle ne contient que 13 espèces regroupées en 11 genres et 9 familles botaniques. En termes de biodiversité ligneuse, cette forêt pourrait être la plus pauvre de l'ensemble des 13 forêts classées que compte le pays. La perte de biodiversité végétale de la forêt et plus généralement dans la zone s'explique selon Gac (1990) et Kane (1997) par la remontée de la langue salée en période d'étiage du fleuve Sénégal jusqu'à plus de 200 km de l'embouchure avant la mise en place du barrage de Diama. La forêt est dominée par les Acacias qui sont des espèces typiquement sahéliennes et occupant les formations les plus sèches de la forêt. Cette répartition taxonomique est proche de celle des écosystèmes du Ferlo.

La formation 4 est floristiquement plus faible avec trois espèces (*T. senegalensis*, *P. juliflora*, *S. persica*) se développant sur un biotope inondable en saison des pluies. Cette faible biodiversité végétale des ligneux dans la F4 pourrait être liée à la salinité des sols. En effet, cette formation abrite une proportion importante d'une population de *T. senegalensis* qui est une espèce indicatrice de salinité (Jafari et al., 2004). Bien que le *Tamarix* n'est pas un halophyte d'obligation, il peut survivre dans des concentrations de sel excédant les 5000 mg/l (Stevens, 1989). L'espèce serait aujourd'hui en pleine expansion et couvrirait actuellement les vastes surfaces qu'occupaient jadis les *Avicennia* à des époques plus humides (Marius, 1985).

La formation 3 suit avec six (6) espèces. C'est au niveau de cette formation que l'on retrouve en proportion plus importante les espèces ligneuses typiquement sahéliennes (*B. aegyptiaca*, *A. senegal*, *A. raddiana*). Les formations 1 et 2 sont floristiquement plus diversifiées avec chacune neuf (9) espèces. La forêt étant structurée sous forme de bassin-versant, il est donc

clair que le peuplement ligneux de F3 serait affecté par la distribution inégale des eaux de pluies qui serait plus favorable aux formations 1 et 2. La FCMD se situe dans une zone côtière (les Niayes de St-Louis), parmi les espèces reliques qui caractérisent cette zone figure bien *S. persica* qui peuple la formation 2. Cette espèce constitue avec *T. senegalensis* le cortège floristique de la zone de Keur Momar Sarr (Ndong et al., 2015) non loin de notre zone d'étude.

### **Structure des ligneux de la forêt**

Pour l'interprétation des données structurales de la forêt et des différentes formations, nous avons retenus le code de classification proposé par Descoings (1973) qui utilise deux critères structuraux ; la stratification du peuplement (nombre des strates) et la taille des ligneux ou des strates.

Globalement, la FCMD présente une strate arbustive dont la hauteur moyenne est de 3,5 m ; il s'agit selon Descoings (1973) d'un peuplement ligneux arbustif bas (haut de 2 à 4 m). Ce trait est partagé avec la formation 2 (3,48 m) et de la formation 3 (2,98 m). La formation 4 à *T. senegalensis* qui présente une strate arbustive de 1,97 m est plutôt un peuplement ligneux buissonnant (haut de 0 à 2m) ; tandis que la formation 1 dont la strate a une hauteur moyenne de 5,6 m est un peuplement ligneux arbustif haut (haut de 4 à 8 m).

L'étude de la structure horizontale de ligneux a prouvé que le relief a influencé fortement la structure des ligneux qui se développe bien dans les points bas, où le bilan hydrique est favorable et où s'accumule la matière organique (Akpo et Grouzis, 1996). Ces mêmes observations ont été faites sur le recouvrement des ligneux, il est plus important dans la formation 1 par rapport aux formations 2 et 3 en raison de la présence d'arbres à grandes cimes. Dans la formation 4 par contre où il a été de 77%, ce taux recouvrement est atteint à cause de la prolifération des populations de *Tamarix* considérées comme espèces envahissantes à cause de sa faculté à se multiplier facilement par les graines ou par marcottage (Wilhelm, 1998). Cet auteur précise que les graines ont la capacité de germer juste après leur retombée sur le sol si les conditions du milieu sont favorables et la multiplication végétative se fait par la croissance secondaire de la tige ou par le rejet des racines. C'est ce qui explique son ISR de 100% et un taux de régénération du plus élevé de 58,54% dans la formation 4. Le *Tamarix* constitue l'une des espèces régénérant le mieux à l'échelle de la forêt (14,92%) après *A. raddiana* (43,54%) et *S. persica*. (20,13%). L'étude de la régénération naturelle a permis d'avoir un aperçu sur la dynamique des ligneux de la forêt. Elle constitue selon Renes (1991), un important outil pour élaborer des stratégies d'aménagement dans les domaines protégés. Sur les 13 espèces ligneuses adultes recensées, seules huit (8) ont régénérées. Les espèces qui présentent un bon taux de recrutement

sont toujours celles qui présentent le plus grand nombre de sujets qui atteignent les stades adultes. *A. digitata*, *C. africana* et *A. nilotica* présentent une régénération naturelle faible voire nulle. De telles informations pourraient être utiles dans le cadre de programme d'aménagement visant un maintien de la biodiversité dans la forêt.

La végétation ligneuse de la forêt est exposée aux actions anthropiques notamment liées au prélèvement de bois. Les menaces les plus pesantes touchent son intégrité physique. En effet, les différentes visites ont permis de remarquer qu'elle est menacée par l'accroissement du front de l'habitat (maison, écoles, mosquées). En plus de ces empiètements, des emblavements d'envergure sont opérés dans la forêt pour des aménagements agricoles après l'installation de grandes compagnies sur les bords et périphéries de la forêt réduisant ainsi grandement sa superficie.

## **Conclusion**

La FCMD est de type sahélien relativement très peu diversifiée avec 9 familles, 11 genres et 13 espèces dont les plus dominantes sont *A. raddiana*, *S. persica*, *E. balsamifera*, *T. senegalensis* et le *P. juliflora*.

La Formation 4 est floristiquement plus faible avec quatre espèces (*T. senegalensis*, *P. juliflora*, *S. persica* et *M. senegalensis*). Cette faible biodiversité végétale des ligneux pourrait être liée à la salinité des sols.

C'est un écosystème caractérisé par une hétérogénéité des micro-habitats avec des espèces caractéristiques : *P. juliflora* et *A. nilotica* pour la formation végétale 1 (F1) ; *A. raddiana* et *E. balsamifera* pour la formation végétale 3 (F3), *S. persica* pour la formation végétale 2 (F2) ; et *T. senegalensis* pour la formation végétale 4 (F4).

La FCMD est colonisée par un peuplement arbustif stratifié autour de 3,5 m avec un diamètre moyen de 12,22 cm. Elle est caractéristique par l'irrégularité de sa distribution spatiale des ligneux entre les différentes formations végétales qui la compose.

La formation 1, qui constitue l'exutoire du ruissellement dans ce bassin versant, contient les plus grands arbres de la forêt avec un plus grand recouvrement et surface terrière.

La FCMD est un bassin versant constitué d'une relique de savane arborée au centre du bassin qui constitue son noyau (F1) et qui évolue en steppe arbustive vers la périphérie (F3).

L'installation du barrage de Diama a eu divers impacts directs, tels que la coupe de forêt pour la construction des routes des habitations et autres infrastructures agricoles et industrielles.

Il est donc recommandé de mettre en place des mesures appropriées de limitation ou d'interdiction d'accès, dans l'intérêt de la protection de la biodiversité.

## Remerciements

Les auteurs remercient les agents des eaux et forêts et les populations de Maka Diama qui ont accompagné ce travail.

## References:

1. Abdourahmane H., Morou B., Rabiou H., Mahamane 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), pp 1048 – 1068.
2. Akpo L.E., Grouzis M. (1996). Influence du couvert sur la régénération de quelques espèces ligneuses sahéliennes (Nord-Sénégal, Afrique occidentale). *Webbia* 50 (2) : 247-263.
3. Berhaut J. (1979). Flore illustrée du Sénégal. Gouvernement du Sénégal, Ministère du développement rural et de l'hydraulique, Direction des eaux et forêts, éditions Clairafrique, Dakar. 636 p.
4. Boudet G., (1984). Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. 4e éd, Paris, Ministère de la coopération. Manuels et Précis d'Élevage, 4 : 1-254.
5. Descoings B. (1973). Les formations herbeuses africaines et les définitions de Yangambi considérées sous l'angle de la structure de la végétation. *Adansonia*, ser. 2i3 : 391-421.
6. Cisse I., Fall A.S. et Fall S.T., 2001. « Caractéristiques de la zone des Niayes » in FALL et al., (dir.), Cités horticoles en sursis ? L'agriculture urbaine dans les Niayes au Sénégal, Ottawa (Ontario), CRDI, pp 1-10.
7. Diallo A. (2011). Caractérisation de la végétation et des sols dans les plantations d'Acacia senegal au s de Dahara dans la zone sableuse du Ferlo. Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des sciences de vie, de la santé et de l'environnement, FST UCAD, p139.
8. Diop S. E. (2012). Les écosystèmes marins et côtiers de l'Afrique de l'Ouest : enjeux de leur gestion à long terme et de leur développement durable - Exemple du Sénégal, 15 p.
9. Duvail S et Hamerlynck O. (2001). Gestion de l'eau et interactions société – nature ; Le cas du delta du Sénégal en rive mauritanienne. In *nature sciences sociales*, pp 5 – 16.
10. Gac J.Y., Appay J. L., Labrousse B. (1990). L'intrusion des eaux océaniques dans la basse vallée du Sénégal au cours du XXe siècle, *Projet EQUESSEN / ORSTOM*, 52p.
11. Guéye S, 2000. Études sur les ressources forestières et les plantations forestières du Sénégal, période 1998 – 2002. 61p.

12. Gning O.N. (2008). Caractéristiques des ligneux fourragers dans les parcours communautaires de Khossanto (Kédougou, Sénégal Oriental). Mémoire de DEA en Biologie végétale, UCAD, 78p.
13. Handschumacher P., Hervé J.P., Hébrad G. (1992). Des aménagements hydroagricoles dans la vallée du fleuve Sénégal ou le risqué des maladies hydriques en milieu sahélien, *Sécheresse*, n°4, vol 3, pp 219 – 226.
14. Humbert J., Mietton M., Kane A. (1995). L'après-barrage dans le delta du Sénégal. Scénarios de remise en eau de la cuvette du Ndiel et impacts, *Sécheresse* n°2, vol 6, 207 – 214pp.
15. Jafari M., Chahouki M.A.Z., Tavili A., Azarnivand H., Amiri G.Z. (2004). Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments*, 56 : 627-641
16. Kane A. (1997). L'après – barrages dans la vallée du fleuve Sénégal, Modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques, Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro agricoles, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, FLSH, Thèse de doctorat d'Etat de Géographie physique, 447p.
17. Lebrun J.P. et Stork A.L. (1991- 1997). Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Conservatoire du jardin botanique de Genève, I, II, III, IV : 249, 257, 341 et 712
18. Marius C. (1985). Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Écologie-Pédologie-Géochimie. Mise en valeur et aménagement. Travaux et Documents 193, ORSTOM, Paris, 357 p.
19. Ndao M. (2012). Dynamiques et gestion environnementales de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès) et Saint-Louis. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse 2 Le Mirail, cotutelle internationale avec l'Université Gaston Berger de Saint-Louis au Sénégal, 370 p.
20. Ndiaye E. M. (2003). Le fleuve Sénégal et les barrages de l'OMVS : quels enseignements pour la mise en œuvre du NEPAD ? », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 4 Numéro 3 | décembre 2003, mis en ligne le 01 décembre 2003. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/3883> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.3883>
21. Ndong A. T., Ndiaye O., Sagna M. B., Diallo A., Galop D., Guisse A. (2015). Caractérisation de la végétation ligneuse sahélienne du Sénégal : cas du Ferlo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(6) : 2582-2594.
22. Ngom D., Fall T., Sarr O., Diatta S, Akpo L.E. (2013). Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de

- biosphère du Ferlo (Nord Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, 65 : 5008 – 5023.
23. Oszwald J. (2005). Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (depuis les années 1980 aux années 2000 : suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique, Thèse de doctorat en Géographie université de Lille 1. 302 p.
  24. Renes, G. J. B. (1991). Regeneration capacity and productivity of natural forest in Burkina Faso. *Forest Ecology and Management* III, 41: 291-308.
  25. Sagna, P., Ndiaye, O., Diop, C., Niang, A. D., & Sambou, P. C. (2016). Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC. *Irevues.Inist.fr : Pollution-Atmosphérique, Climat, Santé, Société* N°227 ; mis à jour le : 23/05/2017, URL : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=5320>, <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.5320>
  26. Sultan B., Servat E., Maley J., Mahé G., (2001). Interrelations entre les forêts tropicales et la variabilité climatique : une synthèse des études récentes. *Sécheresse*, vol. 12, No.4, 221-229.
  27. Tiepolo M. (2012). Évaluer l'environnement au sahel : premières réflexions sur la gouvernance locale. Turin, L'Harmattan, Italia, 89 p
  28. Touffët J. (1982). *Dictionnaire essentielle d'écologie*. Ouest France, 108 p.
  29. Wlihelm N. (1998). *Botanique générale*, traduction de la 10eme édition allemande, 382 p