



Mémoire

**Présenté par :
Modou THIAM**

**ÉCOLE RÉGIONALE POST-
UNIVERSITAIRE D'AMÉNAGEMENT ET DE
GESTION INTEGRES Des FORÊTS ET
TERRITOIRES TROPICAUX**

**Séquestration du carbone et gestion
intégrée des ressources
forestières: cas de la forêt urbaine de
Mbao (Dakar).**

Année Académique: 2013-2014



07.08.04

THI

16220

ÉCOLE RÉGIONALE POST-UNIVERSITAIRE D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION INTÉGRÉES DES
FORÊTS ET TERRITOIRES TROPICAUX
-ÉRAIFT-



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées (DESS) en

« Aménagement et gestion Intégrés des Forêts et Territoires tropicaux »

Séquestration du carbone et gestion intégrée des ressources
forestières : cas de la forêt urbaine de Mbao (Dakar).

Par

Modou THIAM

Ingénieur des eaux et forêts, Spécialiste en Aménagement des forêts.

(7^{ème} promotion en DESS)

Promoteur : Pr. Joseph Lumande Kasali

Encadreur : Ir. Mamadou FALL

Année académique 2013-2014

Dédicace

Dis : "En vérité, ma Salat, mes actes de dévotion, ma vie et ma mort appartiennent à ALLAH, Seigneur de l'Univers. (Coran 6 ; Verset 162).

Le bonheur et le fruit de ce travail sont dédiés :

A mes parents (Thiam Alla et Tall Anta) pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi : pour leur soutien et l'inéluctable patience pendant mes années d'étude et pour le sens de la responsabilité qu'ils ont cultivé en ma personne. Que Dieu leur procure une longue vie pleine de foi et de joie.

Les mots sont bien trop fades et incapables d'exprimer toute ma reconnaissance aux efforts inlassables qu'ils ont consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon guide spirituel Cheikh Bombaly Mbacke Madina qu'ALLAH (swt) lui accorde longue vie et santé de fer.

A toute ma famille maternelle et paternelle avec mention spéciale à mes oncles Tall Assane et Kharmata Ablaye, et leur famille pour toute l'assistance dont ils ont fait preuve à mon égard, qu'ALLAH les assiste.

Aux membres du Cercle islamique « Nour Dine » de Kinshasa.

A toutes les personnes qui me sont chères.

Aux enseignants qui m'ont formé.

A toutes mes connaissances.

A tous mes amis.

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma reconnaissance et mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation.

J'adresse mes vifs remerciements à la Direction de l'ERAIFT représenté par le Directeur Baudouin Michel et toute son équipe, le cortège professoral pour les efforts qu'ils ne cessent de déployer pour la formation des cadres africains dans le domaine de l'aménagement des forêts et des territoires tropicaux.

Les mots usuels : gratitude et remerciements, ne pourraient contenir la teneur de mes sentiments à l'égard du professeur Lumande Kasali Joseph, qu'il trouve ici mon respect, ma considération et mon infinie reconnaissance pour avoir été le promoteur de cette étude.

Je pense à la Direction des Eaux et Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols (DEFCCS), pour m'avoir accueilli, pour son appui technique et logistique et à travers elle le Colonel Mamadou Fall qui n'a ménagé aucun effort pour suivre et orienter ce travail d'une façon très régulière. Qu'il soit remercié pour sa disponibilité, son soutien, ses suggestions et ses orientations.

Je pense aussi à la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (DEEC) qui m'ont aussi accueilli dans leur structure notamment Mme Madeleine Sarr Diouf (chef de la division changement climatique), sa bienveillance et sa compréhension m'ont toujours été témoignées.

J'adresse mes vifs remerciements à la Direction de l'UNESCO pour la bourse qu'elle m'a accordé durant 18 mois pour la formation.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit du Conseil pour le développement de la recherche en sciences sociales en Afrique (Codesria) et de Wallonie Bruxelles Internationale (WBI) pour les subventions qu'elles m'ont accordées pour appuyer cette étude.

J'adresse également ma gratitude à l'endroit de tous les professeurs membres de ce jury pour leur contribution dans l'amélioration de ce document. Qu'ils trouvent à travers ces lignes ma reconnaissance.

Mes remerciements vont également à l'endroit des Colonels Souleymane Gueye, Alassane Ngom et Ahmadou Ba, ils m'ont été d'un appui logistique et technique inestimable.

La collecte des informations du terrain a été réalisée grâce à la volonté et la motivation du Colonel Moussa Fall et de son équipe je veux citer Baka Diop, Mourtalla Seck, Oumou Khairi Traoré, Youma Mbaye, Viviane Mancabou. Qu'ils trouvent dans ces phrases mes remerciements et ma gratitude.

Je tiens à associer à ces remerciements tous mes ami(e)s et collègues de l'ERAIFT sans qui mon parcours pendant ce séjour en R.D.C me serait bien fade. Je les remercie pour ces nombreux échanges fructueux que nous avons eu à partager.

A tous et à toutes, merci.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	v
Abstract.....	vi
Liste des abréviations.....	vii
Listes des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	viii
0. Introduction.....	1
0.1 Cadre théorique.....	3
0.1.1 Contexte international.....	3
0.1.2 Le Sénégal face au changement climatique.....	3
0.1.3 Atténuation aux changements climatiques.....	3
0.1.3.1 Mécanisme pour le Développement Propre (MDP).....	4
0.1.3.2 Réductions des Emissions dues à la Déforestation et à la dégradation des forêts (REDD ⁺).....	5
0.1.3.3 Les projets d'amélioration de la gestion sylvicole (Improved Forest Management - IFM).....	6
0.1.4 Adaptation aux changements climatiques.....	6
0.2. Problématique.....	8
0.3 Questions de recherche et hypothèses.....	9
0.2.1 Questions de recherche.....	9
0.3.2. Hypothèse.....	10
0.4 Objectifs de l'étude.....	10
0.4.1 Objectif global.....	10
0.4.2 Objectifs spécifiques.....	10
0.5 Pertinence en rapport avec l'approche systémique.....	10
Chapitre I. Revue bibliographique.....	11
1.1 Forêt et changement climatique.....	11
1.2 Gestion intégrée des ressources forestières.....	12
1.3 Revue des études antérieures.....	13
Chapitre II. Milieu d'étude.....	14
2.1. Historique de la forêt de Mbao.....	14
2.2. Situation géographique et administrative.....	15
2.3 Climat.....	15
2.3.1 La pluviométrie et les températures.....	15
2.3.2 Les vents.....	17
2.4 Les ressources hydriques.....	17
2.5 Ressources végétales et fauniques.....	17
2.5.1 La végétation.....	17

2.5.2 La faune.....	17
2.6 Les sols.....	18
2.7 Milieu humain.....	18
2.8 Activités socio-économiques	19
2.9 Les infrastructures logées dans la forêt.....	19
Chapitre III. Matériels et méthodes.....	20
3.1 Bibliographie.....	20
3.2 Protocole d'inventaire de la forêt.....	20
3.2.1 But de l'inventaire	20
3.2.2 Description de la forêt	20
3.2.3 Variabilité des paramètres à mesurer (Pré-inventaire)	20
3.2.4 Dispositif d'inventaire.....	22
3.2.5 Choix des unités d'échantillonnage	24
3.2.6 Mesures	25
3.3 Protocole d'enquête.....	30
3.3.1 Objectifs	30
3.3.2 Les principaux acteurs répertoriés.....	30
3.3.3 Les différents groupes à interviewer	30
3.3.4 Méthodologie.....	31
3.3.5 Les différentes thématiques à évoquer	31
Chapitre IV. Résultats et discussion	32
4.1 Résultats d'inventaire	32
4.1.1 Caractéristiques de la forme du paysage	32
4.1.2 Description de la forêt	33
4.1.3 Indice de biodiversité de Shannon H' et d'Equitabilité E (voir annexe 3).....	35
4.1.4 Calcul du potentiel de séquestration de carbone de cette forêt.....	36
4.2 Résultats d'enquêtes.....	43
4.2.1 Présentation des acteurs.....	43
4.2.2 Relations populations riveraines-ressources forestières	44
4.2.3 Contribution des acteurs pour la gestion durable de la forêt	45
4.3. Discussion	47
5. Conclusion et perspectives	50
Bibliographie.....	52
Annexes	56

Résumé

Le changement climatique est devenu une préoccupation mondiale. Au Sénégal, des stratégies d'adaptation et d'atténuation sont élaborées pour faire face à ce phénomène. L'objectif de cette étude est d'évaluer les potentialités de séquestration du carbone de la forêt classée de Mbao (Dakar) et sa contribution à la vie socio-économique des populations riveraines.

Suite à un inventaire floristique stratifié et systématique basé sur les différentes formations végétales et d'utilisation des terres (les plantations de *Eucalyptus sp.*, les plantations de *Anacardium occidentale* dégradées, les plantations de *Anacardium occidentale* fermées, les cultures pluviales sous parc arborés et les cultures maraîchères) avec l'utilisation des modèles allométriques (trois modèles que nous avons comparés et retenus le modèle de Chave et al 2005). La quantification du carbone total de cette forêt est estimée à 30069,11 tonnes de carbone, celle de la biomasse aérienne ligneuse est de 6340 tonnes de carbone ce qui correspond à 9,66 t/ha. La strate de *Eucalyptus sp.* stocke le plus de carbone à l'hectare (23,77 tonnes) alors que celle des cultures maraîchères marquée par les activités agricoles en séquestre le moins (0,5t/ha). Les prévisions effectuées montrent que cette forêt se comportant telle une source de carbone perdrait la moitié de son stock sur une période de 100 ans si la tendance se maintient. Par ailleurs une étude socio-économique nous a permis de comprendre que les strates de cultures maraîchères et pluviales contribuent énormément à l'amélioration des conditions de vie des populations mais présentent des potentialités de séquestration très faible.

Enfin, une approche de gestion intégrée des ressources forestières a été proposée afin de préserver durablement ce massif.

Mots clés : forêt classée de Mbao, changement climatique, gestion intégrée, séquestration du carbone, Sénégal.

Abstract

The effects of climate change become a global concern. Here in Senegal, adaptation and mitigation strategies are developed to deal with this phenomenon. The objective of this study is to evaluate the potential of carbon sequestration in the forest reserve Mbao (Dakar) and its contribution to the socio-economic life of local residents. Following a stratified, systematic floristic inventory based on the different vegetation and land use (plantations of *Eucalyptus sp*, plantations *Anacardium occidentale*, degraded plantations *Anacardium occidentale*, closed, wooded park under rainfed crops and market garden) with the use of allometric models (three models we have compared and selected the model of Chave and al 2005). The quantification of the total carbon of the forest is estimated at 30069.11 tons of carbon, the woody aboveground biomass is 6340 tons of carbon equivalent to 9.66 t / ha. Stratum of *Eucalyptus sp.* sequesters more carbon per hectare (23.77 tons) while that of vegetables marked by agricultural activities in receivership lowest (0.5 t / ha). Forecasts carried out show that this forest containing such a carbon source would lose half of its stock over a period of 100 years if the trend continues. Also a socio-economic study has allowed us to understand the layers of vegetable and rainfed crops contribute significantly to the improvement of living conditions of the population but have very low potential for sequestration. Finally, an integrated approach to forest management has been proposed to permanently preserve this massif.

Key words: Mbao classified forest, climate change, integrated management, carbon sequestration, Senegal.

Liste des abréviations

- ADEF** : Association Développement Entre Aide de Fass Mbao.
- APIX** : Agence pour la promotion de l'investissement et des grands travaux.
- CCNUCC** : Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique.
- CFA** : Communauté Financière Africaine.
- CSE** : Centre de Suivi Ecologique.
- DEFCCS** : Direction des Eaux et Forêts, de la Chasse et de la Conservation des Sols.
- FAO** : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FCM** : Forêt Classée de Mbao.
- GEMA** : Groupement des exploitants maraichers et aviculteurs de BOUNE.
- GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.
- GPS** : Global Positioning System.
- IDH** : Indice de Développement Humain.
- IFM** : Improved Forest Management.
- INRA** : Institut National de Recherche Agronomique.
- MDP** : Mécanisme pour le Développement Propre.
- ONFI** : Office National des Forêts.
- PAFCM** : Plan d'Aménagement de la Forêt Classée de Mbao s'étalant sur 12ans depuis 2008.
- PANA** : Programme d'Action National aux fins de l'Adaptation.
- PFS** : Plan Forestier du Sénégal.
- PGES** : Plan de Gestion Environnementale et Sociale.
- PMA** : Pays les Moins Avancés.
- PNUD** : Programme des Nations Unies pour le Développement.
- REDD⁺** : Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts.
- SNDES** : Stratégie Nationale de Développement Economique et Social.
- UFDEK** : Union de Femme pour le Développement Endogène de Kamb.
- UNFCCC** : United Nations Framework Convention on Climate Change.
- US** : United States.
- VCS** : Verified Carbon Standard.

Listes des tableaux

Tableau 1: Moyenne des précipitations et température de la station de Dakar Yoff de (1980-2012).....	15
Tableau 2 : Présentation des strates de la forêt et leur superficie.....	17
Tableau 3: Les activités socio-économiques par village.....	19
Tableau 4 : Estimation de la moyenne et de la variance.....	22
Tableau 5 : Nombre de placettes d'échantillon par strate.....	23
Tableau 6 : Les placettes de plantations de <i>Eucalyptus sp</i>	36
Tableau 7 : les placettes de cultures pluviales sous parc arborés	37
Tableau 8 : Estimation du carbone aérien	38
Tableau 9 : Stock de carbone total.....	40
Tableau 10 : Les Modules du puits de carbone	41
Tableau 11 : Les Modules de l'état de référence	41

Liste des figures

Figure 1: Récentes avancées des négociations internationales. Source : d'après Simonet 2011a 6	
Figure 3 : Localisation de la forêt classée de Mbao.....	14
Figure 4 : Situation géographique et administrative de la forêt classée de Mbao (cartes du CSE)	15
Figure 5 : Climatogramme de la station Dakar-Yoff de 1980 – 2012 (Modou Thiam).	16
Figure 6: Carte des placettes de pré-inventaire de la forêt classée de Mbao	21
Figure 7: Carte des placettes d'inventaire de la forêt classée de Mbao.....	26
Figure 8 : Mesure de diamètre (Ecosystem Services Team Winrock International)	27
Figure 9 : Mesure de hauteur (Ecosystem Services Team Winrock International)	28
Figure 10 : Excavation et mesure de la biomasse racinaire des peupliers de la station INRA à Vézénobres (Gard). N. Girardin.	30
Figure 11 : Peuplements de <i>Eucalyptus sp</i> (Modou thiam).....	33
Figure 12 : Peuplements de <i>Anacardium occidentale</i> fermé (Modou thiam).....	33
Figure 13 : Peuplements de <i>Anacardium occidentale</i> dégradé (Modou thiam).....	34
Figure 14 : Strate de culture maraîchère (Modou thiam)	34
Figure 15 : Peuplements de culture pluviale sous parc arborés. Source PAFCM.....	35
Figure 16 : Carte de séquestration du carbone par strate.....	39
Figure 17 : Activités humaines sur la strate de culture maraîchère (Modou thiam)	39
Figure 18: Les prévisions d'émissions de la forêt	42
Figure 19: Diagramme de Venn adapté à la forêt de Mbao (Modou Thiam)	43

0. Introduction

La problématique des changements climatiques est devenue une préoccupation majeure de la communauté internationale pour ses nombreuses implications sur l'avenir de l'environnement global.

Les perturbations climatiques engendrées par le réchauffement global à l'échelle planétaire se sont amplifiées au cours de ce dernier siècle. En effet, depuis 150 ans, une concentration de plus en plus élevée des gaz dit à « effet de serre (GES) » est observée dans l'atmosphère. Le CO₂ qui est le plus important de ces gaz, est responsable d'environ 65 % de l'effet de serre. Sa concentration est passée de 280 ppmv (partie par million en volume), avant l'ère industrielle, à près de 367 ppmv en 1999 (GIEC, 2001).

La science du changement climatique a fait du chemin depuis le Sommet de la Terre à Rio de Janeiro (1992) et l'adoption du Protocole de Kyoto (1997). A présent, nous reconnaissons que le changement climatique est inévitable et, même dans le scénario le plus optimiste, aura des répercussions majeures sur les régimes climatiques du monde et, par conséquent, sur la vie des populations – en particulier les pauvres (Locatelli et al, 2008).

Dans la mise en œuvre de la CCNUCC, l'Afrique est comptée parmi les zones où la végétation naturelle peut contribuer à une émission de carbone par des processus de dégradation (feux de brousse, dégradation, érosion) ou de séquestration si des activités sont menées en termes de reforestation et de reconstitution des terres dégradées.

Au Sénégal, comme dans la plupart des pays sahéliens, les populations sont soumises à des problèmes de lutte contre la pauvreté et de développement.

Deux problèmes fortement aggravés par la régression des ressources naturelles résultant, en partie, des effets des changements et/ou variabilité climatiques et de la désertification. Les changements climatiques ont une forte incidence sur les systèmes écologiques et humains du pays (INTAC, 2011).

Le Sénégal est perpétuellement confronté aux effets adverses des changements climatiques du fait de sa façade maritime longue de 700 Km qui subit l'impact de l'élévation du niveau marin avec comme corollaire l'érosion côtière, l'intrusion saline dans les terres agricoles, la salinisation des ressources en eaux et la destruction des infrastructures.

S'il est vrai que les secteurs de l'agriculture, des forêts et des autres affectations des terres souffrent des impacts du changement climatique, il est vrai aussi qu'ils contribuent aux émissions de gaz à effet de serre. En même temps, ces secteurs ont un potentiel unique pour atténuer le changement climatique, en réduisant ou évitant les émissions, et en accroissant les puits de carbone (FAO, 2010).

Les forêts représentent donc une part essentielle des initiatives mondiales visant à faire face au changement climatique.

Environ 350 millions de personnes, parmi les plus pauvres de la planète, y compris 60 millions d'autochtones, exploitent intensément les forêts pour assurer leur subsistance et leur survie (FAO, 2012).

Ces forêts fournissent des matières premières sous forme d'aliments, d'énergie et de matériaux à des millions de personnes. Elles offrent aussi des services éco systémiques comme la régulation de l'eau, le contrôle de l'érosion et la séquestration de carbone à des milliards d'autres personnes. Nous avons besoin que les forêts continuent à fournir ces matières premières et services éco systémiques à l'avenir, et besoin d'elles face au changement climatique (Locatelli et al, 2008).

C'est suite aux conclusions du protocole de Kyoto en 1997 que l'importance du suivi du carbone séquestré dans les programmes de boisement et reboisement a été soulevée et plus tard sur la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts.

Le Sénégal dispose de massifs forestiers classés péri urbains dont la séquestration du carbone, la conservation et la gestion durable n'ont pas fait l'objet d'étude approfondie.

C'est à cette fin que la problématique de l'atténuation aux changements climatiques à l'échelle de la forêt classée de Mbao sera traitée. Il consistera à évaluer la séquestration du carbone par la forêt et la définition d'un cadre d'intervention des acteurs en vue d'une gestion durable.

0.1 Cadre théorique

0.1.1 Contexte international

Dans son quatrième rapport d'évaluation, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) reconnaît que le réchauffement climatique actuel est avéré et qu'il est dû aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dont les causes sont majoritairement anthropiques (IPCC, 2006). La déforestation des forêts tropicales représente la troisième principale source de ces émissions soit 17,4% de la totalité des GES en 2004 (IPCC, 2007). « La déforestation résulte de la conversion des forêts en terres non forestières par l'action des hommes » (IPCC, 2006).

Le GIEC, (en anglais Intergovernmental panel on climate change, IPCC) a été établi en 1988 suite aux premières constatations sur les changements climatiques. Il est à l'origine de la signature de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (United nations framework convention on climate change UNFCCC en anglais), convention ratifiée en 1992 lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro (UNFCCC, 1992). Cette convention a pour but de « stabiliser les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère » (UNFCCC, 1992), désignant les pays majoritairement responsables dans l'Annexe 1 (35 pays « développés »).

0.1.2 Le Sénégal face au changement climatique

Le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine (GIEC, 2007).

Le Sommet de la Terre de Rio de Janeiro (Brésil), en juin 1992, a consacré la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Cette Convention a été ratifiée par 170 Etats, elle est entrée en vigueur le 21 mars 1994.

Le Sénégal, pays à faible Indice de Développement Humain (IDH= 0,47 et le classement PNUD 2012 : 154^e/187 pays), figure parmi les pays les moins avancés (PMA). Le pays a ratifié la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques en juin 1994 et le protocole de Kyoto en Juillet 2001.

Suite à cette ratification, un Comité National de suivi sur les Changements Climatiques a été mis en place en 1994, pour l'application effective des objectifs de la Convention (PANA, 2006), formalisé sur le plan institutionnel par un arrêté ministériel en 2002.

0.1.3 Atténuation aux changements climatiques

La définition de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre consiste à réduire les émissions ou d'augmenter leur stockage dans des réservoirs non atmosphériques.

La vulnérabilité des écosystèmes au changement climatique entraîne d'importants impacts pour le système climatique, car il se peut que les changements éco systémiques relâchent du carbone dans l'atmosphère (amplifiant le réchauffement de la planète) ou retirent du carbone de l'atmosphère (réduisant le réchauffement de la planète). Ces réactions végétation-climat ont largement été étudiées, mais de nombreuses incertitudes demeurent (Canadell et al. 2004).

Nos sociétés peuvent réagir à l'évolution du climat en s'adaptant à ses effets et en diminuant les émissions de GES (atténuation), afin de réduire le rythme et l'ampleur des changements (GIEC, 2007).

« L'activité la plus importante à réaliser au cours des prochaines décennies pour atténuer le changement climatique en Afrique est d'accroître la quantité de carbone séquestré biologiquement dans la biomasse et la matière organique du sol. » (Guo et Gifford, 2002).

C'est dans ce cadre de la séquestration du carbone que s'inscrivent les projets MDP (Mécanisme pour le Développement Propre) et REDD⁺ (Réduction des Emissions dues à la Dégradation et à la Déforestation).

Il est alors nécessaire de pouvoir chiffrer les quantités de carbone contenues dans les forêts. Ces mécanismes sont cependant régis par une méthodologie et un certain nombre de standards.

Selon la définition du GIEC, les standards ou critères de performance sont un « ensemble de règles ou de codes imposant ou définissant la performance d'un produit ». Deux types de standards internationaux existent (ONFI, 2010a).

- Les standards garantissant que le projet génère des réductions d'émissions de GES réelles et vérifiables, et permettant l'émission de VER (Verified Emissions Reductions) tels que : American Carbon Registry (ACR), Climate Action Reserve (CAR), Chicago Climate Exchange (CCE), Verified Carbon Standard (VCS).
- Les standards validant les bénéfices environnementaux (autre que le stockage du carbone) et sociaux comme : Climate Community and Biodiversity Standard (CCBD) ou Social Carbon.

0.1.3.1 Mécanisme pour le Développement Propre (MDP)

Le protocole de Kyoto signé en 1997 a accouché de trois mécanismes (le commerce d'émissions, le mécanisme de développement propre (MDP) et l'application conjointe), fixant ainsi les quotas d'émissions et établit que ces pays pourront parvenir à respecter leur quota soit par une réduction directe de leurs émissions soit par compensation grâce à ces mécanismes. Le MDP repose sur un système de marché permettant aux pays d'acquérir des crédits d'émissions certifiés qui sont générés par des projets de développement contribuant à la réduction des émissions des GES. Cependant, peu de projets forestiers répondent aux critères d'éligibilité au MDP. Seuls sont acceptés les projets de boisement et de reboisement ou des projets de biomasse-énergie forestier; ainsi tous les projets de déforestation évitée ou de gestion forestière durable ne sont pas éligibles. De plus, ces

projets d' « afforestation-reforestation » génèrent des crédits temporaires qui ne peuvent pas contribuer à une part importante de la réduction des émissions des pays à quotas (ils ne doivent pas représenter plus de 5% des émissions). Cependant de nouveaux pays industrialisés (Chine, Brésil..) n'ayant aucune responsabilité historique ne font face à aucune obligation.

0.1.3.2 Réductions des Emissions dues à la Déforestation et à la dégradation des forêts (REDD⁺)

Les limitations du MDP sont à l'origine de la création d'un autre type de mécanisme : la déforestation évitée (Humphreys, 2008). D'après le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2007), le secteur de la foresterie dont principalement la déforestation et la dégradation des forêts tropicales sont responsables de 17,4% des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) anthropiques. Ce constat inquiétant a propulsé la problématique de la déforestation et de la dégradation des forêts tropicales sur le devant de la scène des négociations internationales sur le climat. Les gouvernements de Papouasie et Nouvelle-Guinée ont proposé d'intégrer la réduction des émissions dues à la déforestation (RED) dans les pays en voie de développement lors de la conférence des parties (CDP) à Montréal en 2005 (UNFCCC, 2005).

Cette première proposition est élargie au mécanisme REDD permettant d'intégrer la réduction des émissions dues à la dégradation forestière. Lors de la CDP de Bali en 2007, les parties reconnaissent « qu'il faudrait prendre en compte les besoins des populations locales et des communautés autochtones dans le cadre de l'action engagée pour réduire les émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts dans les pays en développement » (UNFCCC, 2007). Dans le cadre de la poursuite du processus de négociation, le REDD a évolué vers le REDD⁺, et permet désormais de prendre en compte la gestion forestière durable, la conservation et l'augmentation des stocks de carbone (ONFI, 2010a). Le mécanisme REDD⁺, outre un impact climatique important, a également le potentiel de générer des bénéfices sociaux et environnementaux non négligeables.

Au Sénégal les recherches sont en cours pour définir une stratégie REDD⁺ du pays. Si estimer les émissions dues à la déforestation est à la portée de tous, il n'en est pas le cas de celle due à la dégradation des forêts qui demeure à ce jour un vaste champ de recherche.

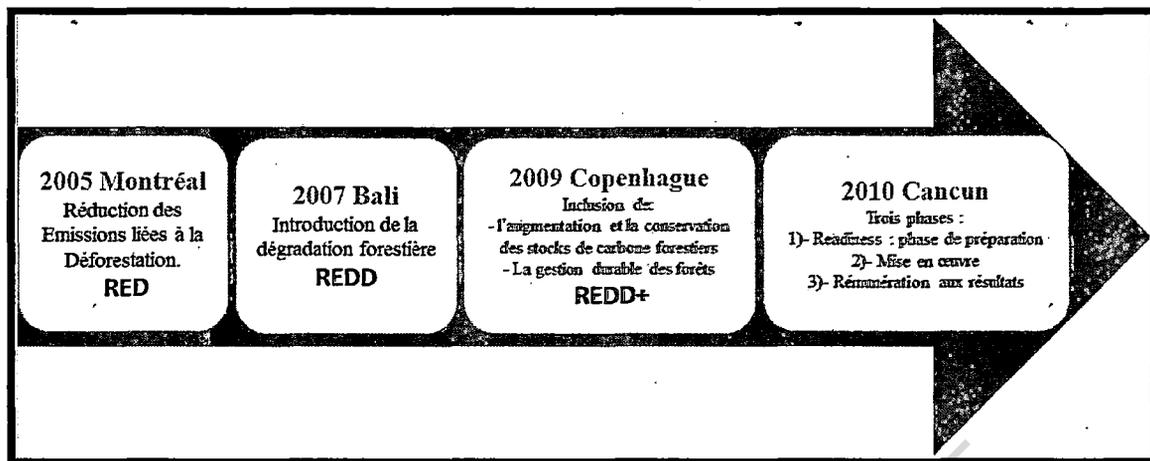


Figure 1: Récentes avancées des négociations internationales. Source : d'après Simonet 2011a

0.1.3.3 Les projets d'amélioration de la gestion sylvicole (Improved Forest Management - IFM).

Ces projets sont mis en œuvre sur des « forêts » qui ont vocation à le rester. L'objectif est d'accroître le stock de carbone au sein de ces espaces ou de réduire l'impact et les émissions des activités d'exploitation via de meilleures pratiques sylvicoles, on peut citer les exemples suivants :

- Le passage d'un mode d'exploitation forestière conventionnel à un mode d'exploitation à faible impact ou une gestion durable ;
- La mise en conservation d'une forêt exploitée précédemment ;
- L'augmentation de la durée de rotation de l'aménagement (délai entre les coupes sur une même parcelle).

0.1.4 Adaptation aux changements climatiques

Les écosystèmes des régions semi-arides sont très sensibles aux variations de précipitations, qui peuvent affecter la productivité de la végétation et la survie des plantes (Hulme, 2005).

D'après Miles et al. (2006), les forêts tropicales sèches en Amérique latine seront davantage touchées que celles en Afrique ou en Asie. (Locatelli et al, 2008).

L'analyse de la vulnérabilité, aux fins d'adaptation aux changements climatiques des principaux secteurs économiques du Sénégal a débuté en 1998 et s'est principalement focalisé sur les ressources en eau, l'agriculture et la zone côtière (PANA, 2006).

Dans les pays sahéliens en général et au Sénégal en particulier, les perturbations climatiques se manifestent depuis 1973 par de fréquentes sécheresses affectant le milieu rural et par des inondations dans les villes, mais aussi par un dérèglement perceptible des conditions climatiques se manifestant par des vagues de chaleur et des pluies hors saison, une diminution des rendements agricoles et par conséquent une fragilisation de l'équilibre précaire des économies domestiques et des écosystèmes soumis aux catastrophes et désastres (Sall et al, 2011).

D'après le GIEC (2001), l'adaptation est l'ajustement des systèmes naturels ou humains pour répondre à des changements climatiques actuels ou attendus (ou à leurs effets), pour en modérer les conséquences négatives et tirer profit des opportunités.

Plus récemment, l'Accord de Copenhague (2009) a élargi le concept d'adaptation en ajoutant à la définition communément admise jusqu'alors, celle de l'adaptation aux effets négatifs des changements climatiques, un nouveau volet, celui de l'adaptation aux impacts des actions d'atténuation.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

0.2. Problématique

La forêt classée de Mbaob (722,5 ha) véritable poumon vert de la ville de Dakar est amenée à jouer un rôle crucial du point de vue écologique (séquestration du carbone, régulateur thermique...), économique et social (réduction de la pauvreté rurale, aire de loisirs).

D'une situation de forêt péri-urbaine, cette forêt est progressivement devenue une forêt urbaine. Elle est ceinturée par des villages en pleine extension (une population estimée à 270 937 habitants) maintenant dépourvue ou disposant de peu de réserves foncières. Ainsi, elle fait l'objet de convoitise de la part des villageois et des promoteurs immobiliers. De surcroît, l'extension des routes lui fait subir des empiètements et des risques de saignées pouvant compromettre son existence (PAFCM, 2008).

Ce processus de dégradation des ressources naturelles est le résultat de la conjonction d'un ensemble de facteurs complexes, dont les principaux sont d'ordre climatique (sécheresses successives et irrégularités des pluies qui sont à l'origine de la fragilisation du milieu naturel et d'une forte dégradation du couvert forestier) et d'ordre anthropique (croissance démographique, modes d'exploitation du milieu non adaptés aux conditions locales).

Mais aussi des politiques de gestion des ressources naturelles et forestières inadéquates ne prenant en compte ni le potentiel du milieu physique, ni les besoins réels des populations ou le rôle social et économique des ressources naturelles.

Du fait d'une agriculture essentiellement pluviale, les perturbations climatiques risquent de compromettre les efforts de lutte contre la pauvreté et l'objectif d'atteindre l'autosuffisance alimentaire (Deuxième communication nationale à la CCNUCC, 2010).

Or selon le GIEC (2007), le rôle de séquestration du carbone des forêts est scientifiquement établi, et selon Baccini et al (2012) ce sont 228,7 milliards de tonnes de carbone (soit 230 pétagrammes¹) qui sont stockés par les forêts des régions tropicales.

Pour les principaux acteurs : que ce soit la DEFCCS ou les populations riveraines, leurs attentes de cette forêt convergent vers des fonctions écologiques, de protection de l'environnement, de fournir aux populations les ressources nécessaires au développement économique et s'assurer une certaine équité sociale.

En milieu rural, l'histoire récente des interventions est marquée par un passage progressif d'une méthode interventionniste vers une plus grande participation des populations rurales dans leur propre développement. Les premiers projets visaient à répondre au faible niveau de production agricole face à une faible mise en valeur des ressources, ces problèmes étaient abordés en termes de productivité en introduisant des paquets techniques préétablis (FAO, 1995).

Les tendances actuelles vont vers une plus grande prise en compte des dimensions sociales, de la préservation de l'environnement, et de la durabilité des actions de développement. Les projets de développement rural ont ainsi progressivement évolué vers des formes intégrant des dimensions multiples des problèmes à traiter. Ils ont en fait cherché à mieux prendre en

¹ Pétagramme: Unité de mesure de masse du Système international (SI), valant 10¹⁵ grammes

compte la complexité des situations locales rencontrées, la multiplicité des causes de ses problèmes, la multiplicité des acteurs ainsi que la diversité des solutions envisagées. Mais, le plus grand changement revient au fait que ces programmes ont adopté des démarches avec des formes participatives et intégrées de manière à être plus à l'écoute des attentes de la population, à mieux appréhender les problèmes vécus et à assurer une appropriation par les groupes humains concernés des actions d'amélioration de leur situation.

A l'instar des pays signataires de la convention sur le climat, le Sénégal doit communiquer à la conférence des Parties les informations relatives à ses émissions anthropiques par les sources et l'absorption par les puits de tous les gaz à effet de serre (GES) non réglementés par le Protocole de Montréal (inventaire des GES) (**Deuxième communication nationale à la CCNUCC, 2010**).

Les études précédentes se sont limitées à l'estimation de la quantification du carbone or il serait utile d'y associer l'impact de l'activité humaine et de faire des prévisions afin de guider les futures orientations pour une gestion durable.

C'est dans la perspective d'atténuation aux changements climatiques par une approche intégrée que nous nous proposons après avoir évalué la capacité de séquestration du carbone de cette forêt d'engager les acteurs dans le cadre d'une gestion intégrée des ressources naturelles en vue d'un développement durable.

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude du D.E.S.S² qui s'est étalé sur (6) mois (Janvier – Juin 2014).

0.3 Questions de recherche et hypothèses

0.3.1 Questions de recherche

Dans la présente étude nous essaierons d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quel est le potentiel de séquestration du carbone de la forêt de Mbao et comment évolue-t-il ?
- Comment les ressources forestières contribuent-elles à l'amélioration du niveau de vie des populations locales et quel est l'impact de leurs activités sur la fonction de puits de carbone de cette forêt ?
- Quel est le coût d'opportunité entre le maintien de la forêt intacte (puits de carbone) et son exploitation telle que prévue par le PAFCM notamment les séries agricole, de production forestière et de loisirs par les populations locales?
- Comment concilier tous les acteurs dans le cadre d'une gestion intégrée en vue d'un développement durable assurant le maintien des ressources forestières de la FCM ?

² D.E.S.S : Diplôme d'Etude Supérieure Spécialisée

0.3.2. Hypothèse

La connaissance du potentiel de séquestration en carbone de cette forêt et de l'impact des activités humaines sur ce pool de carbone peut conduire à une meilleure responsabilisation des gestionnaires et des populations pour une gestion durable des ressources.

0.4 Objectifs de l'étude

0.4.1 Objectif global

Sur la base de l'évaluation du bilan carbone de cette forêt : Il s'agit de rechercher la convergence entre les actions économiques, sociales et le maintien de la fonction de puits de carbone de cette forêt.

0.4.2 Objectifs spécifiques

- Déterminer le bilan carbone de la forêt classée de Mbao tout en précisant, la strate qui emmagasine le plus de carbone et la méthode allométrique la plus appropriée pour l'estimation de la biomasse aérienne.
- Préciser comment les cultures pluviales ou de maraîchage contribuent à améliorer les conditions de vie des populations (relations populations riveraines - ressources naturelles) et l'impact sur le rôle de puits de carbone de la forêt.
- Proposer des pistes d'action aux différentes parties prenantes afin d'assurer une gestion rationnelle et durable des ressources forestières.

0.5 Pertinence en rapport avec l'approche systémique

La forêt classée de Mbao fait l'objet d'immenses pressions, l'intérêt porté à une meilleure gestion de cette forêt s'est vu renforcé suite à l'installation du projet de l'autoroute à péage qui affecte 35 ha de la forêt selon l'APIX qui s'est engagée à compenser cette perte pour l'environnement en contribuant au financement du PGES d'abord et du PAFCM ensuite en 2008. Cette présente étude se propose de ressortir la contribution de cette forêt dans la lutte contre les changements climatiques, son apport socio-économique pour les populations locales et proposer une approche de gestion intégrée pour qu'elle réponde plus efficacement à son rôle de poumon vert de la région de Dakar mais aussi de contribution à l'amélioration des conditions des populations locales.

Chapitre I. Revue bibliographique

1.1 Forêt et changement climatique

Dans le cadre du calcul des émissions liées à la déforestation, la définition même de «forêt» permettant de calculer les surfaces concernées revêt une importance considérable. Celle-ci peut varier d'un pays à l'autre :

Les forêts revêtent un intérêt capital pour tout l'ensemble de la communauté humaine entière. La forêt est définie selon l'Accord de Marrakech de 2001 (UNFCCC, 2001) à partir de trois éléments en vue de son éligibilité au mécanisme MDP (boisement – reboisement) :

- La superficie comprise entre 0,05 à 1 hectare (ha) ;
- Le taux de couverture au sol du houppier estimé entre 10 et 30% ;
- La hauteur des arbres à maturité d'environ 2 à 5 m.

Ces éléments ne constituent que des repères à la définition d'une forêt et à titre indicatif car pour l'heure, il n'y a pas de définitions consensuelles de forêts. Celles-ci varient selon les pays, les écosystèmes, les écorégions. En effet, une forêt en région tempérée n'est pas la même qu'en zone sahélienne ou en milieu tropicale.

Au Sénégal « Les forêts s'entendent des terrains recouverts d'une formation à base d'arbres, d'arbustes ou de broussailles d'une superficie minimale d'un seul tenant d'un hectare, dont les produits exclusifs ou principaux sont le bois, les écorces, les racines, les fruits, les résines, les gommés, les exsudats et huiles, les fleurs et les feuilles » (décret d'application du code forestier, 1998).

Ainsi, la déforestation se définit comme le passage d'un état de forêt à un état de non-forêt et la dégradation d'un état de forêt à un état de forêt dégradée (où le stock de carbone a été diminué par rapport à son état initial).

Les forêts représentent une part essentielle des initiatives mondiales visant à faire face au changement climatique. Toutefois, jusqu'à présent, elles ont presque toujours été prises en compte dans l'optique d'atténuer le changement climatique, grâce au reboisement et au boisement et, plus récemment, en évitant la déforestation et la dégradation des forêts (Locatelli et al, 2008).

L'une des principales fonctions des forêts est la fixation et la séquestration du carbone atmosphérique. Ce service éco systémique des forêts est au centre de toute l'attention internationale dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques.

Les forêts ont joué un rôle essentiel dans l'histoire de l'humanité. Depuis des millénaires, des épisodes de déforestation accompagnent la croissance démographique et le développement dans le monde entier. Des facteurs comme les changements climatiques, les cultures, les technologies et les échanges ont contribué, dans une large mesure, à accélérer ou ralentir la déforestation – voire à l'inverser. Au fil du temps, les interactions entre les êtres humains et les forêts ont évolué, en fonction des mutations sociales et économiques. L'histoire nous apprend qu'il existe des liens solides entre l'utilisation des forêts (y compris la déforestation)

et le développement économique et social, mais aussi entre la destruction des forêts (avec des effets irréversibles sur l'environnement) et le déclin économique (FAO, 2012).

Le domaine forestier du Sénégal comprend un domaine classé et un domaine protégé. La gestion du domaine classé relève des compétences du service des Eaux et Forêts et du service des Parcs Nationaux.

Le domaine classé national couvre 31,7 % du pays et comprend les forêts classées, les périmètres de reboisement et de restauration, les réserves naturelles intégrales, les parcs nationaux et réserves spéciales. Il se répartit comme suit : 213 forêts classées de 6 237 648 hectares de superficie totale, dont 20 sont des réserves sylvo-pastorales (1 514 000 ha) et 8 des zones d'intérêt cynégétique (1 976 315 ha) Si l'on tient compte des périmètres de reboisement et de restauration (qui font partie du domaine classé) comme la bande de filao de la Grande Côte, le taux de classement atteint 52,2%. (Deuxième communication nationale à la CCNUCC, 2010).

1.2 Gestion intégrée des ressources forestières

Le développement avec ses modèles de consommation, d'utilisation du sol et de croissance démographique influence les changements climatiques et leur évolution ainsi que la qualité de l'environnement (Maldague, 2004).

L'utilisation abusive des ressources naturelles, pour des besoins de consommation, constitue la principale justification de l'état de dégradation de l'environnement.

Les menaces environnementales sont devenues réelles et se manifestent, entre autres, déjà par la baisse de la pluviométrie et de la biomasse, alors que, dans le même temps, les sols deviennent de moins en moins riches. Sans une gestion efficace susceptible d'inverser cette tendance, il demeure impossible de s'attendre à une croissance continue de la production (SNDES, 2012).

La lettre de politique de l'Environnement ambitionne de répondre à la nécessité de concilier la conservation et l'exploitation des ressources naturelles et de l'environnement pour un développement durable.

Elle vise surtout à impliquer et à responsabiliser les populations dans la gestion de leurs terroirs car, l'analphabétisme élevé et la paupérisation de larges couches sociales ont induit une pression accrue sur les ressources naturelles.

En effet, dans le cadre de sa politique de décentralisation, le gouvernement du Sénégal a décidé de transférer des compétences en matière de gestion des ressources naturelles et de l'environnement aux collectivités locales pour mieux responsabiliser les populations à la base (PANA, 2006).

Le sous-secteur de l'environnement et des ressources naturelles poursuit les politiques et stratégies à mettre en œuvre :

- Atténuer les effets des changements climatiques sur les écosystèmes, à travers la promotion de la préservation et de la gestion des ressources naturelles par les collectivités

locales, l'aménagement de forêts communautaires et la gestion rationnelle des ressources forestières.

- Renforcer les capacités de gestion de l'environnement et des ressources naturelles, avec la promotion de l'éducation environnementale, la production et la diffusion de l'information sur l'état de l'environnement et des ressources naturelles et le renforcement des capacités des acteurs de l'environnement (SNDES, 2012).

La stratégie de gestion qu'il convient d'adopter dans les domaines de l'aménagement et du développement est une gestion, non seulement globale, mais encore intégrée, qui met l'accent sur les interactions réciproques entre les éléments de l'environnement. L'expression « gestion intégrée » signifie gestion globale, interdisciplinaire et intersectorielle, qui appréhende la réalité dans sa globalité, dans sa complexité, son dynamisme et son évolution (Maldague, 2004).

1.3 Revue des études antérieures

La revue de la littérature a permis de recenser plusieurs études effectuées dans la forêt classée de Mbao dans la cadre de mémoire de fin d'étude.

Parmi ces études on peut citer celle de Ngom (2011) visant à estimer le stock de carbone de cette forêt. Il a utilisé les équations allométriques pour calculer la quantité de carbone séquestrée par ce massif forestier. De cette étude, il est ressorti que la quantité de carbone séquestrée par la forêt est estimée à 7,92 (tonnes par hectare (t/ha)).

Par ailleurs, ces études notamment celle de Ngom (2011) et Sarr (2008) ne tiennent pas compte de la dynamique du carbone. Elles se limitent à estimer la quantité de biomasse et de carbone séquestrée ; tandis que d'autres (Gaye, 2009 ; Dégué, 2008) dans d'autres contextes s'intéressent uniquement aux forêts naturelles.

En outre, l'étude effectuée par Diouf en 2013 a utilisé une toute autre approche, en effet l'estimation du carbone dans cette forêt a été réalisée à l'aide du logiciel du GIEC pour les inventaires de gaz à effet de serre destiné aux Parties non visées à l'annexe I de la CCNUCC ; Version : 1996 (Module 5) sans recours aux inventaires. Par ailleurs cette étude n'a porté que sur les placettes ligneuses de la forêt, en effet celles des cultures pluviales sous parc arboré, de la savane herbeuse et des cultures maraichères de la forêt n'ont pas été considérées dans l'estimation de la quantité de carbone.

D'autres études en cours ou déjà réalisées portent sur d'autres thématiques telles que le marigot de la forêt, ou encore l'étude de sa dynamique paysagère.

Chapitre II. Milieu d'étude

Le Sénégal est situé à l'extrême ouest du Continent africain entre les latitudes 12° et 17°30' nord et les longitudes 11°30' et 17°30' ouest. Il couvre une superficie de 196 722 km². Il est limité au nord par la Mauritanie, à l'Est par le Mali, au Sud-est par la Guinée et au Sud par la Guinée Bissau (PFS, 2006).

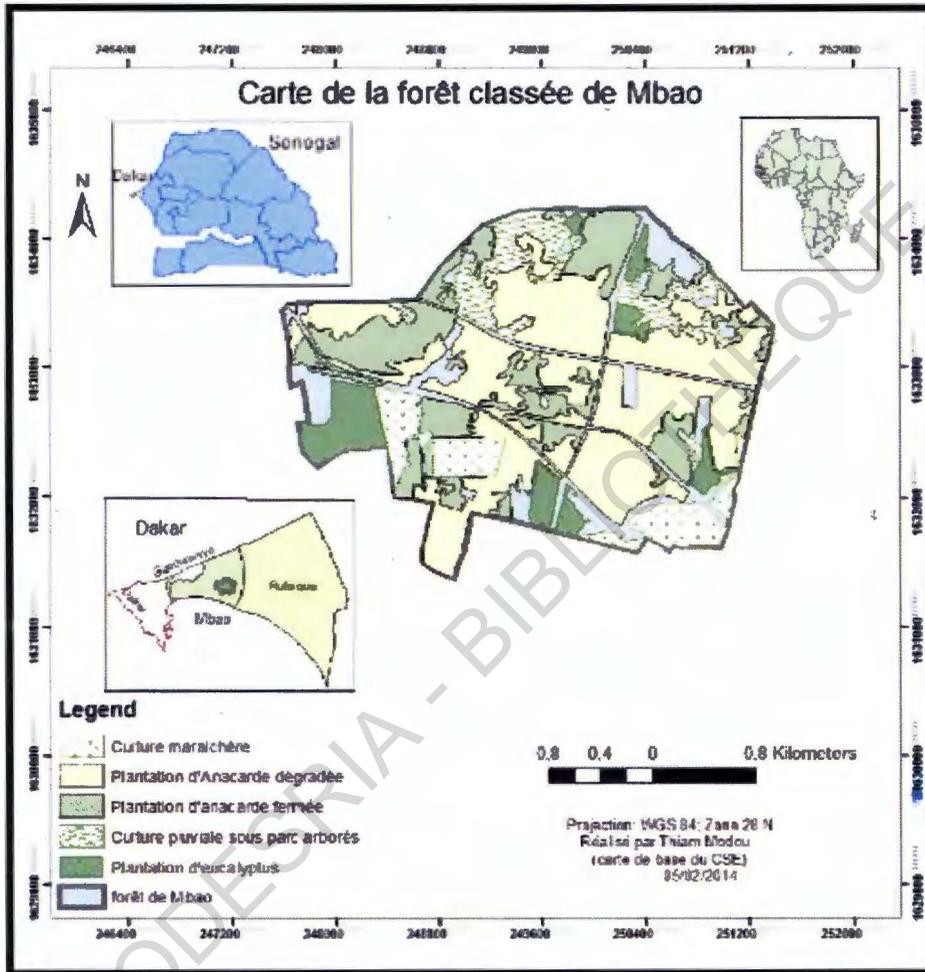


Figure 2 : Localisation de la forêt classée de Mbaou

2.1. Historique de la forêt de Mbaou

L'arrêté général portant classement du périmètre de reboisement de Mbaou a été pris le 7 mai 1940 mais l'immatriculation des terrains en cause au nom de l'Etat date de novembre 1908. Débutées en 1918 par du filao (*Casuarina equisetifolia*), les plantations avaient pour objectifs la fixation et la protection des sols. Entre 1940 et 1955, plusieurs autres espèces furent introduites dans la forêt : *Eucalyptus camadulensis*, *Prosopis juliflora*, *Anacardium occidentale* etc...

Du point de vue juridique, la forêt classée de Mbaou, d'une superficie de 722,5 ha, fait partie du domaine classé de l'Etat (PAFCM, 2008).

2.2. Situation géographique et administrative

La forêt classée de Mbao est limitée au Nord par les villages traditionnels de Boune, Darou Misseth et Médina Kell, au Sud par Petit Mbao et Grand Mbao, à l'Est par Kamb et Keur Mbaye Fall, et à l'Ouest par la Route Nationale N°1 et les bretelles de Petit Mbao et Fass Mbao (PAFCM, 2008).

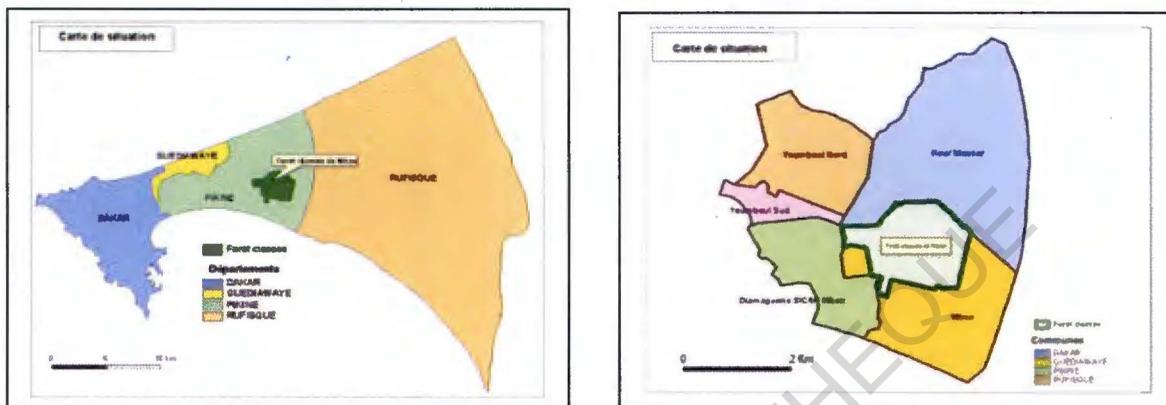


Figure 3 : Situation géographique et administrative de la forêt classée de Mbao (cartes du CSE)

2.3 Climat

2.3.1 La pluviométrie et les températures

N'ayant pas de thermomètre enregistreur au niveau de la station de Mbao, les données les plus proches sont celles de Dakar Yoff où nous avons étudié les valeurs des précipitations et températures de 1980-2012 dont les moyennes mensuelles sont ci-dessous.

Tableau 1: Moyenne des précipitations et température de la station de Dakar Yoff de (1980-2012).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température	21,68	21,47	21,76	22,02	23,34	26,07	27,54	27,74	27,91	28,16	26,50	23,89
Précipitations	1,58	0,45	0,15	0,02	0,05	9,67	54,35	163,10	134,12	21,33	0,14	0,09

La température moyenne annuelle est de 24,84°C, et les précipitations annuelles s'élèvent à 385,04 mm.

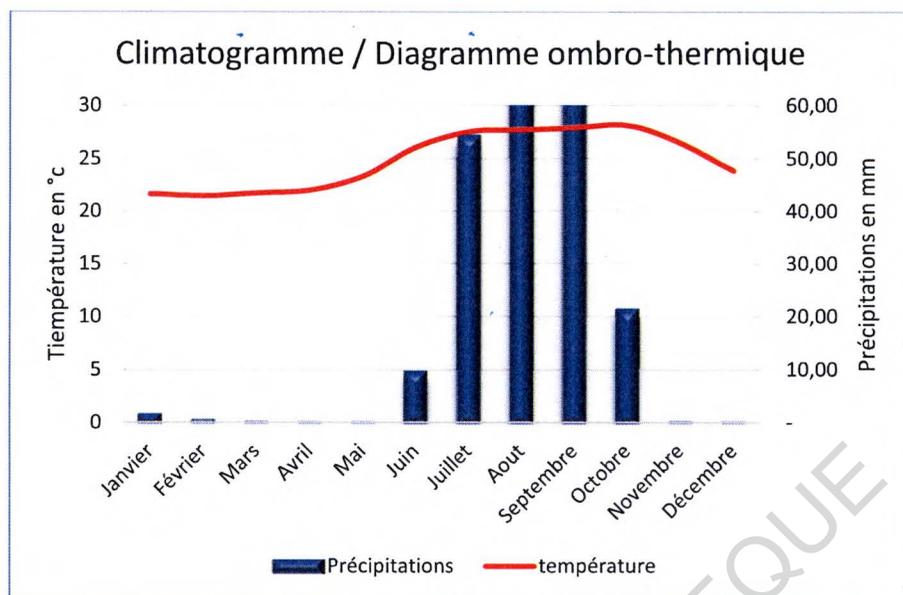


Figure 4 : Climatogramme de la station Dakar-Yoff de 1980 – 2012 (Modou Thiam).

L'analyse de ce diagramme réalisé à partir des données météorologiques nous révèle que :

- La température la plus élevée est en fin de saison des pluies (octobre) ;
- La température moyenne annuelle $> 24^{\circ}\text{C}$;
- Le régime de précipitations saisonnières ;
- L'amplitude thermique $> 5^{\circ}\text{C}$;
- Le nombre de mois sec > 3 (9-10 mois) ;

Conclusion : on est en présence d'un climat de type tropical.

A- Classification de Koppen-Geiger

- La température moyenne de chaque mois de l'année $> 18^{\circ}\text{C}$;
- Les précipitations annuelles $>$ évaporation annuelle (en référence à l'année 2012) ;
- Les cours d'eau permanents rares ;
- La saison sèche marquée ;

Conclusion : il s'agit donc d'un climat tropical de type Aw.

B- Diagramme de Walter (adaptation de Gausson)

Gausson considère ainsi que les mois pendant lesquels la pluviosité (en mm) est inférieure au double de la température (en $^{\circ}\text{C}$) sont des mois secs (CFPT, 1989).

Selon le diagramme de Walter qui a caractérisé 10 grands types de climats à travers le monde, on se trouve ici dans un climat de type II tropical caractérisée par une saison des pluies et une saison sèche marquée.

C- Conséquences sur la végétation

La végétation est l'expression du climat car à chaque type climatique correspond un ensemble de groupements ou de formations végétales. En zone tropicale sèche, l'influence du climat sur

la végétation s'exprime par la présence de formations végétales non désertiques telles que les steppes, savanes, forêts claires (cas de la forêt de Mbao), et les forêts denses sèches.

2.3.2 Les vents

Le régime des précipitations est réglé par l'interaction de plusieurs masses d'air dont les deux principales :

- L'alizé continental : issu de l'anticyclone maghrébin qui traverse le désert saharien pour atteindre le Sénégal. C'est un vent du Nord-est, sec et à température variable, soufflant en saison sèche.
- L'alizé équatorial maritime, encore appelé mousson, provient de l'anticyclone de Sainte Hélène. C'est un vent du Sud-ouest, très humide, responsable des pluies dans toute l'Afrique occidentale (PFS, 2006).

2.4 Les ressources hydriques

La forêt dispose de ressources en eau. En plus du marigot qui longe Kamb pour passer derrière Keur Mbaye Fall et sous la route nationale 1 pour aller à la mer, il y a des mares et des zones dépressionnaires à inondation temporaire et un réseau de puits.

2.5 Ressources végétales et fauniques

2.5.1 La végétation

Le peuplement naturel a presque disparu. Il ne reste plus que des individus isolés : *Faidherbia albida* (Kad), *Parinari macrophylla* (Neev), *Adansonia digitata* (Baobab), *Maytenus senegalensis*, *Ximenia americana*, *Eleais guineensis* (Palmier à huile) en bordure des Niayes. Les essences exotiques ont pris la relève grâce aux plantations effectuées, qui concernent essentiellement *Anacardium occidentale* (Darcassou : cajou), *Eucalyptus* sp. et *Casuarina equisetifolia* (Filao).

Tableau 2 : Présentation des strates de la forêt et leur superficie

Strates	Superficie (ha)
Plantations de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	61,70
Plantations de <i>Anacardium occidentale</i> dégradées	294,62
Plantations de <i>Anacardium occidentale</i> fermées	151,07
Cultures pluviales sous parc arboré	65,52
Cultures maraichères	59,78
Savane herbeuse	20,02
Plantations forestières mixtes	2,73
Plantation de <i>Prosopis juliflora</i>	1,14 ha

Source : (PAFCM, 2008).

2.5.2 La faune

La forêt constitue un habitat pour l'épanouissement de la faune sauvage, c'est le lieu de refuge d'une biodiversité animale assez importante.

- Les mammifères :

L'ordre des Lagomorphes à travers la famille des Léporidés est essentiellement représenté par l'espèce *Lepus crawshayi* (lièvre à oreille de lapin) ;

L'ordre des carnivores est représenté par la famille des Viverridés avec comme espèce *Civettictis civetta*.

La famille des Canidés est représentée par *Canis aureus* (Chacal commun).

Parmi les Herpestidés, l'espèce la plus commune dans la forêt est *Mungos mungo* (Mangouste rayée).

- Les reptiles :

Deux ordres parmi les 4 (quatre) que comptent les reptiles sont présents dans cette forêt.

L'ordre des squamates représenté ici par la famille des Geckkonidés dont l'espèce représentative est *Hemidactylus mabouia* et la famille des Varanidés avec *Varanus niloticus* (Varan du Nil) et enfin la famille des Viperidés avec l'espèce *Bitis arietans* (vipère heurtante).

- Les oiseaux :

On y trouve plusieurs familles d'oiseaux représentées par :

La famille des Accipitridés avec *Milvus migrans* (Milan noir), *Aegyptus tracheliotus* (Vautour oricou).

La famille des Alcedinadés avec l'espèce *Halcyon leucocephala* et *Halcyon senegalensis*.

Les coraciidés représentés par le *Coracias naevia* (Rollier varié) et les Corvidés avec le *Corvus albus* (**Rapport annuel du secteur, 2009**).

2.6 Les sols

Dans cette forêt on rencontre :

- Les sols fins, limoneux, hydromorphes avec une forte teneur en matières organiques et une capacité de rétention d'eau élevée ; ils forment un milieu favorable à la végétation et composent les parties basses.

- Les sols gris possédant des horizons humifères et les sols bruns rouges qui sont des sols dégradés ayant perdu leurs horizons humifères ; ces derniers sont très sensibles à l'érosion éolienne et sont beaucoup plus pauvres en matières organiques que les sols gris. Ces deux types de sols inféodent les parties les plus élevées. (**PAFCM, 2008**).

2.7 Milieu humain

La population est hétérogène essentiellement composée de Wolofs (dominante léboue), de Sérères, de Peulhs, de Manjacks, de Diolas.

Des villages traditionnels sont contigus à la forêt de Mbao. Certains sont érigés en communes d'arrondissement avec une population estimée à 270 937 habitants (**PAFCM, 2008**).

2.8 Activités socio-économiques

Tableau 3: Les activités socio-économiques par village

Villages	Activités	Populations
Keur Mbaye Fall	Elevage, aviculture	Cf. Mbao
Boune	Elevage, aviculture, commerce, maraichage	Cf. K. Massar
Darou Missette	Elevage, aviculture, commerce, maraichage	Cf. K. Massar
Kamb	Elevage, aviculture	Cf. Mbao
Commune de Mbao	Pêche, commerce, élevage, transport	40 800
Commune Diameguene Sicap Mbao	Commerce	149 320
Commune de Keur Massar	Elevage, aviculture, commerce, maraichage	80 817
TOTAL		270 937

Source : PIC Mbao, PIC Rapport EIES in (PAFCM, 2008).

2.9 Les infrastructures logées dans la forêt

- ✦ La pépinière forestière du service régional des Eaux et Forêts de Dakar ;
- ✦ Les Locaux du Service régional des Eaux et Forêts de Dakar ;
- ✦ Un centre Hippique, siège de l'association des amis de la nature (4 ha) ;
- ✦ Le réseau de captage des eaux de pluies qui est constitué de puits creusés de 1,5 m de diamètre dans les zones dépressionnaires ;
- ✦ Les Cimetières des naufragés du bateau le « Diola » (0,86 ha.) ;
- ✦ Le centre de transfert des déchets solides Veolia ;
- ✦ Les lignes ferroviaires qui traversent également la forêt ;
- ✦ Le mur de protection de la forêt implanté dans le cadre du plan d'aménagement.

En plus du patrimoine bâti, d'autres infrastructures et équipements se trouvent dans la forêt. Il s'agit notamment des dépôts d'explosifs de Sénégallex (0,80 ha), du centre de dispatching de la Senelec (1,9 ha) et du garage-dépôt de la société Henan-Chiné (0,5 ha).

Plus récemment l'autoroute à péage (Aap) Dakar-Diamniadio qui traverse la forêt dans sa partie septentrionale de l'Ouest vers l'Est sur une distance de 4000 m et qui occupe une superficie de vingt hectares (20 ha) fait désormais parti de ces infrastructures (PAFCM, 2008).

Chapitre III. Matériels et méthodes

3.1 Bibliographie

Elle nous a permis de nous situer et de comprendre le contexte de l'étude ; Elle a porté sur la documentation des changements climatiques, des méthodes d'évaluation de la séquestration du carbone par les peuplements forestiers, la méthodologie du développement rural intégré et enfin le plan d'aménagement de la forêt classée de Mbao (PAFCM) fut également une source importante de données.

Par ailleurs la participation à des séminaires portant sur l'atténuation au changement climatique (séquestration du carbone) nous a permis de peaufiner notre approche.

3.2 Protocole d'inventaire de la forêt

3.2.1 But de l'inventaire

Le but de cet inventaire est de déterminer le potentiel de séquestration du carbone de la forêt classée de Mbao.

Afin de diminuer l'effet de la variabilité du paramètre à estimer (stock de carbone) et de réduire l'erreur d'échantillonnage, nous allons procéder à une subdivision de la population en sous unités plus homogènes appelées strates afin de les sonder indépendamment. Les critères de stratification sont nombreux et variés (âge, essences, densité du peuplement, peuplement pur ou mélangé...). Ils peuvent correspondre à des variables aussi bien quantitatives que qualitatives (Rondeux, 1999).

Dans notre cas la stratification se base sur les différentes formations végétales et d'utilisation des terres dont les différentes classes sont : les plantations de *Eucalyptus sp.*, les plantations de *Anacardium occidentale* dégradées, les plantations de *Anacardium occidentale* fermées, les cultures pluviales sous parc arboré, les cultures maraichères, la savane herbeuse, les plantations forestières mixtes, la plantation de *Prosopis juliflora*.

Un pré-inventaire sera réalisé afin de déterminer le coefficient de variation de la variable à estimer et en déduire le nombre et la superficie des placettes d'inventaire, puis le taux de sondage pour une précision fixée.

3.2.2 Description de la forêt

Sur la base de la stratification élaborée dans le cadre du Plan d'aménagement de la Forêt Classée de Mbao (PAFCM), partant d'un critère de stratification qualitatif (types de végétation), nous partons des 8 strates définies.

3.2.3 Variabilité des paramètres à mesurer (Pré-inventaire)

La variabilité des paramètres risque d'être très grande à l'échelle de la forêt, nous nous proposons alors d'établir une stratification a priori (pré stratification).

La pré-stratification a pour objectifs d'identifier les principales unités de peuplement constituant la forêt en prenant en compte la présence ou non de formations forestières (savanes, plantations...), ou d'autres occupations du sol.

Dans le cadre d'un pré-inventaire, nous devrions nous intéresser à une évaluation sommaire de la quantité de carbone séquestrée dans chaque strate afin d'estimer les paramètres (moyenne, écart type et coefficient de variation) intra et inter-strates, mais cela aurait été coûteux pour notre projet c'est pourquoi nous avons estimé la densité (nombre de tiges/hectare) fortement liée à la quantité de carbone séquestrée.

A cet effet 10 placettes de 20 m de rayon ont été échantillonnées à raison de 2-3 placettes par strate excepté celle des cultures sous parc arboré, de la savane herbeuse et des plantations forestières mixtes. Les données seront ramenées à 3 placettes par strate en tenant compte des résultats d'inventaire de Ngom en 2011.

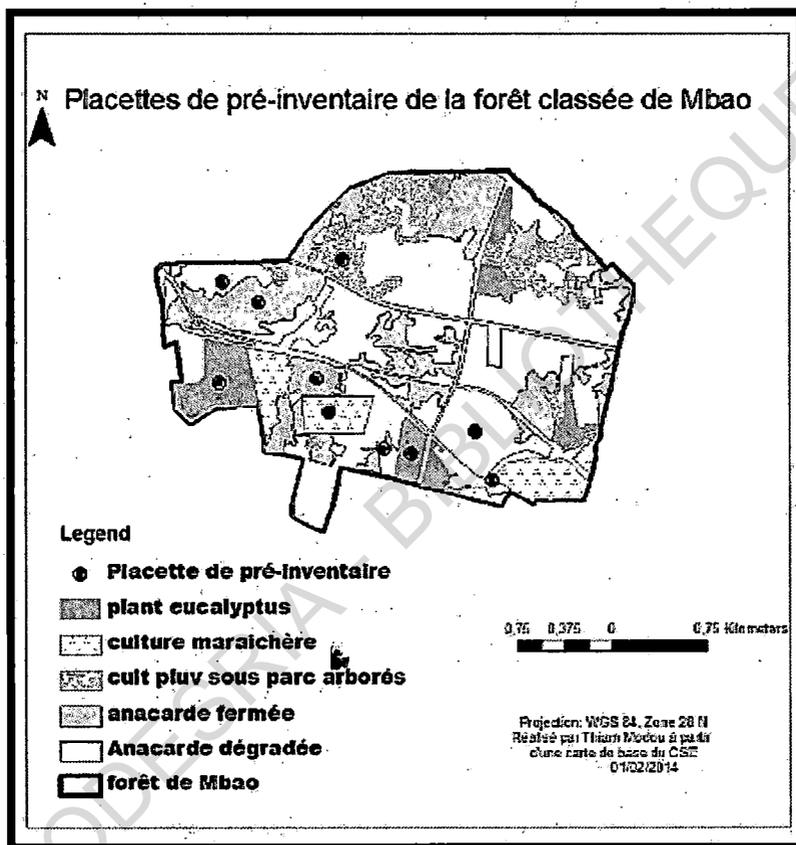


Figure 5: Carte des placettes de pré-inventaire de la forêt classée de Mbao

Le pré-inventaire consiste en un sondage « léger » réalisé dans chacune des principales formations forestières identifiées lors de la pré-stratification, il permet d'évaluer pour chaque strate identifiée, les coefficients de variation des variables étudiées avec la meilleure précision possible. Ces estimations rendent alors possible une optimisation du plan de sondage de l'inventaire.

La réalisation de ce pré-inventaire est vivement souhaitable dans la mesure où il constitue un moyen efficace d'améliorer la qualité des travaux et de réduire les coûts d'opérations (ATIBT, 2006).

En principe, seule l'exactitude du résultat fourni par l'échantillonnage est réellement intéressante. Cependant, pour des raisons pratiques et de simplicité, on ne tient généralement

compte, dans la confiance à accorder à un inventaire, que des erreurs d'échantillonnage. Celles-ci dépendent de plusieurs facteurs, tels que :

- La dimension de l'échantillon,
- La variabilité des unités d'échantillonnage,
- Le type d'échantillonnage utilisé (Rondeux, 1999).

Tableau 4 : Estimation de la moyenne et de la variance

Strate végétale	Densité moyenne	Variance	Ecart type	CV%
Plantation <i>Eucalyptus sp.</i>	52	32,04	5,66	62,85
Plantation <i>Anacardium occidentale</i> dégradée	35	1058,2	32,53	92,93
Plantation <i>Anacardium occidentale</i> fermée	109	392,04	19,8	18,16
Cultures pluviales sous parc arboré	38	49,98	7,07	18,6
Cultures maraichères	9	32,04	5,66	62,85
Savane herbeuse	2	0,5	0,71	47,17
Plantations forestières mixtes	7	1,99	1,41	20,2
Plantation de <i>Prosopis juliflora</i>	19	1,99	1,41	7,44

La variance de la moyenne générale s'écrit alors : $Variance = \frac{1}{N^2} \sum N_i^2 * Variance\ i$

i = Numéro de la strate ; $N_i / N = S_i / S$ = Proportion de la strate ;

Variance (forêt) = 237,76 Ecart-type (forêt) = $\sqrt{Variance\ (forêt)}$ = 15,42

Densité moyenne (forêt) = $\frac{1}{N} \sum N_i * Densité\ i$

Donc Densité moyenne (forêt) = 50,43 tiges /1256 m².

CV (forêt) = 100 * Ecart-type (forêt) / Densité moyenne (forêt).

D'où CV (forêt) = 100 * 15,42 / 50,43 = 30, 58%.

3.2.4 Dispositif d'inventaire

- **Description du plan de sondage**

Une fois ces paramètres appréciés on procède au calcul du nombre de placettes correspondantes pour l'inventaire proprement dit pour une erreur de 15% à un taux de probabilité de 95% (5% risque de première espèce).

La valeur moyenne ou totale d'un paramètre estimé à partir d'un échantillon est de façon générale différente de la valeur réelle de ce paramètre pour la population. La précision de l'estimation obtenue est par conséquent nécessaire pour compléter l'information apportée par l'échantillon (Rondeux, 1999).

Le choix de l'erreur (15%) s'explique par le fait que selon (Pearson et al, 2005) le niveau de précision pour un inventaire du carbone a un effet direct sur le coût de l'inventaire. Des mesures exactes peuvent être obtenues avec des niveaux d'erreur comprises entre [10-20%] à un taux de probabilité de 95%. Par ailleurs il n'existe pas de règles précises pour la fixation de

l'erreur, mais plus faible est la précision, plus difficile sera de dire avec certitude qu'un changement de stock de carbone s'est produit entre deux (2) périodes.

- **Détermination du nombre d'unités d'échantillonnage**

La détermination du nombre d'unités d'échantillonnage suppose que l'on connaisse le coefficient de variation (CV), la probabilité (α) et l'erreur relative (Er). Le coefficient de variation de la variable à estimer étant apprécié par l'intermédiaire du pré-inventaire, α et Er étant préalablement fixés. On pourra déterminer le nombre d'unités à installer en fonction de la précision souhaitée ou en fonction des moyens disponibles sans considération de la précision (Rondeux, 1999).

Si nous nous plaçons dans le 1^{er} cas, on a dans le cas d'une population infinie (population de placettes : le nombre total N d'unités est forcément très élevé par rapport au nombre n d'unités constituant l'échantillon).

Amplitude = $t_{5\%} s / \sqrt{n}$; Moyenne estimée = \bar{X} ; Er = amplitude / moyenne estimée

$Er = (t_{5\%} s / \sqrt{n}) / \bar{X} = (t_{5\%} / \sqrt{n}) (s / \bar{X}) = (t_{5\%} / \sqrt{n}) CV$.

Si $Er \leq 15\%$ alors $n \geq (t_{5\%}^2 CV^2 / Er^2)$ (Pearson et al, 2005).

$t_{5\%}$ avec degré de liberté = 8 strates - 1 = 7 ; d'où $t_{5\%} = 2,36$.

Application numérique : $n = 2,36^2 * 30,58^2 / 15^2$ $n = 23,15 = 23$ placettes.

- **Détermination du nombre d'unités d'échantillonnage intra-strates**

Par la suite, le nombre de placettes intra-strates sera déterminé par allocation proportionnelle sur la base des superficies de chaque strate. Dans ce cas, le nombre d'unités d'échantillonnage dans la strate est proportionnel à la surface de la strate.

On est donc dans le cadre d'une stratification à fraction sondée constante.

$Fi = (S_i * n) / S$ avec :

S_i = Superficie de la strate ;

S = Superficie de la forêt ;

n = Nombre de placettes total à échantillonner.

Tableau 5 : Nombre de placettes d'échantillon par strate

Strate végétale	Nombre de placettes par strate
Plantation <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2
Plantation <i>Anacardium occidentale</i> dégradée	11
Plantation <i>Anacardium occidentale</i> fermée	5
Cultures pluviales sous parc arboré	2
Cultures maraichères	2
Savane herbeuse	1

- **Détermination du taux de sondage**

Le taux de sondage autrement appelé « Intensité d'échantillonnage » ou « Taux d'échantillonnage » ou encore « Fraction sondée » correspond au rapport entre la taille de l'échantillon et la taille de la population.

$$Er = [(1 - T) * (t * CV)] / \sqrt{n} \quad (\text{ATIBT, 2006}) \text{ avec :}$$

Er : erreur en % sur la variable considérée ; **T** : taux de sondage (en %) ;

t : t de Student à 5% pour degré de liberté (ddl) = 7 ;

CV : coefficient de variation en % sur la variable considérée ; **n** : nombre de placettes.

$$T = 1 - \frac{Er \sqrt{n}}{t_{5\%} CV} \quad \text{Application Numérique : } T = 0,3\%.$$

- **Détermination de la superficie des placettes**

Il n'est pas possible de fixer facilement la surface à donner à chaque unité d'échantillonnage tant le nombre d'éléments qui entrent normalement en ligne de compte est élevé.

Le choix de la taille des placettes relève d'un compromis entre la précision souhaitée, la représentativité, le temps et le coût de l'inventaire.

$$T = [(n \times S_i) / S] \times 100 \quad (\text{ATIBT, 2006}) \text{ avec :}$$

T : taux de sondage (en %) ; **n** : nombre de placette ;

S_i : surface d'une placette ; **S** : surface de la forêt ;

$$\text{Donc : } S_i = T * S / 100 n$$

Application Numérique : $S = 0,3 * 656,58 / 100 * 23 = 0,09 \text{ ha} = 900 \text{ m}^2$.

3.2.5 Choix des unités d'échantillonnage

Il existe deux types de placettes :

- Les placettes individuelles d'une taille fixe,
- Les placettes imbriquées contenant de plus petites sous-unités de différentes formes et tailles. L'expérience a montré que les placettes imbriquées peuvent être les plus efficaces.

Mais pour les systèmes à faible variabilité, comme c'est le cas des plantations (peu d'espèces), les placettes individuelles sont les mieux indiquées (**Pearson et al, 2005**).

- **Nature et Forme**

Pour la nature des placettes nous avons opté pour des placettes temporaires vu qu'il ne sera pas nécessaire d'assurer le suivi du carbone.

Les formes les plus habituelles d'unités d'échantillonnage à-surface définie sont le carré, le rectangle, la bande et le cercle. La forme la plus favorable d'une placette est celle qui, à surface égale, présente le plus petit rapport du périmètre à la surface de telle manière que le nombre d'arbres situés en limite de placette soit le plus réduit possible (Rondeux, 1999).

Selon le principe isopérimétrique, de toutes les formes caractérisées par une même aire, le disque aura le périmètre le plus court (Bogaert, 2013).

Pour toutes ces raisons, les placettes circulaires ont été privilégiées car en plus de cela elles se prêtent à une délimitation rapide sur le terrain.

Par ailleurs elles ne comportent pas de direction privilégiée, ce qui confèrent plus d'objectivité aux mesures et aux résultats.

$$S = \pi * R^2 = 900 \text{ m}^2 \quad R = 16,92 \text{ m} = 17 \text{ m.}$$

La superficie des placettes est de 900m² pour un rayon = 17 m.

- **Dimension des mailles**

Comme les strates ne sont pas contiguës, nous allons adopter un maillage carré qui permette de lever le nombre minimal de placettes pour chaque strate. Et cela à partir d'un maillage de 400 m².

3.2.6 Mesures

- **Positionnement des placettes**

Afin de maintenir une certaine rigueur statistique, la localisation des placettes doit se faire sans biais. Cependant l'existence des infrastructures dans la forêt fait que des choix raisonnés soient effectués. Le choix des placettes se fera à partir d'un maillage carré de 400 m de côté, les intersections des grilles constituent une placette. Pour les strates ou il y'a plus de points du maillage que de placettes à inventorier on privilégiera les placettes les plus éloignées des infrastructures (routes, habitations..) afin de réduire l'effet de lisière. Pour la placette de la strate savane herbeuse non représentée sur cette cartographie, nous allons grâce aux agents du secteur forestier, identifier la strate et y installer notre placette d'inventaire.

L'adoption d'une maille carrée donne lieu à une exploration plus régulière de la forêt.

Notre méthode d'inventaire peut être qualifiée d'échantillonnage stratifié et systématique à grille régulière. La disposition en grilles est surtout utile à considérer dans les inventaires intensifs de petites surfaces forestières.

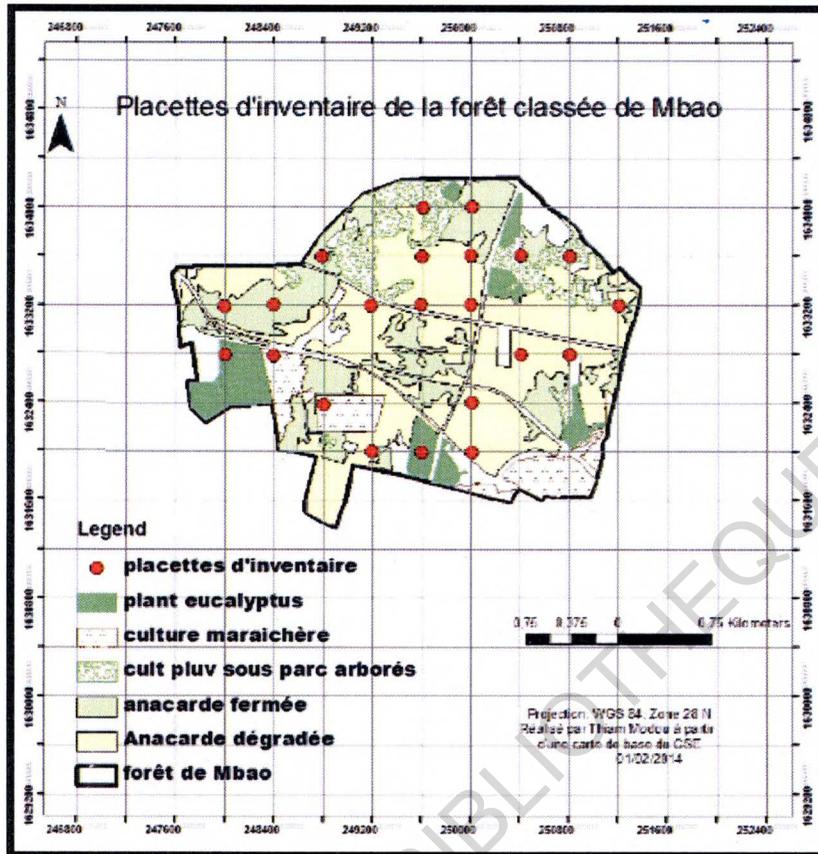


Figure 6: Carte des placettes d'inventaire de la forêt classée de Mbao

Conclusion : la méthodologie d'échantillonnage est qualifiée d'échantillonnage stratifié systématique à grille régulière avec un pas de sondage de 400m. Dans le cadre de cet inventaire, notre échantillon est constitué de 23 placettes individuelles, circulaires et temporaires de 900 m² de superficie (17m de rayon) pour un taux de sondage de 0,3%, une erreur de 15% à une probabilité de 95%.

- **Organisation des équipes et procédure sur le terrain**

Les placettes ont été identifiées par les coordonnées géographiques de leur centre pour les positionner sur la carte.

L'équipe était composée d'un chef d'équipe qui repérait les centres de placettes et notait les mesures sur les fiches, un opérateur chargé des mesures de diamètre et de hauteur et un aide qui tient le ruban pour repérer les limites de la placette.

- **Déplacement de l'équipe sur le terrain**

L'équipe a utilisé pour se déplacer le GPS et la boussole. Les agents du secteur forestier de Pikine qui connaissent bien la forêt ont aidé à rejoindre rapidement les strates identifiées.

La réalisation de l'inventaire sur le terrain comporte plusieurs phases successives que nous définirons comme suit :

- Le cheminement et le repérage des placettes,
- L'implantation des placettes,

- La récolte des données et la réalisation des observations.

- **Mesures du diamètre et de la hauteur**

Les diamètres sont mesurés à 1,30 m pour toutes les essences à partir de 5 cm. Le compas forestier ainsi que le mètre ruban ont été utilisés pour les mesures du diamètre.

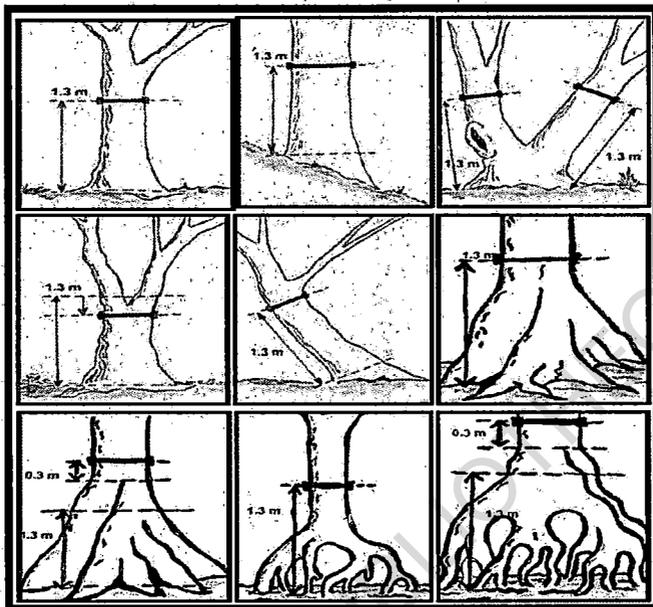


Figure 7 : Mesure de diamètre (Ecosystem Services Team Winrock International)

La hauteur totale quant à elle a été mesurée pour tous les arbres de diamètre supérieur à 5 cm. Sauf pour les anacardiens pour lesquels seuls une dizaine d'arbres ont été mesurés à cause de la forme des arbres bas branchus et on en a établi une régression du diamètre en fonction de la hauteur pour déterminer les autres hauteurs.

Enfin pour les espèces dont le diamètre est inférieur à 5 cm, elles ont été identifiées puis dénombrées afin de caractériser la diversité du milieu.

Le dendromètre suunto PM 5 a été utilisé pour les mesures de hauteur. Vu que nous sommes sur un terrain plat une seule mesure a été effectuée (celle de la cime en pourcentage) qui sera ensuite traduite en hauteur à partir de la distance séparant l'utilisateur de l'arbre. A cette hauteur on ajoutera la hauteur entre l'œil de l'utilisateur et le sol et on obtient la hauteur totale de l'arbre.

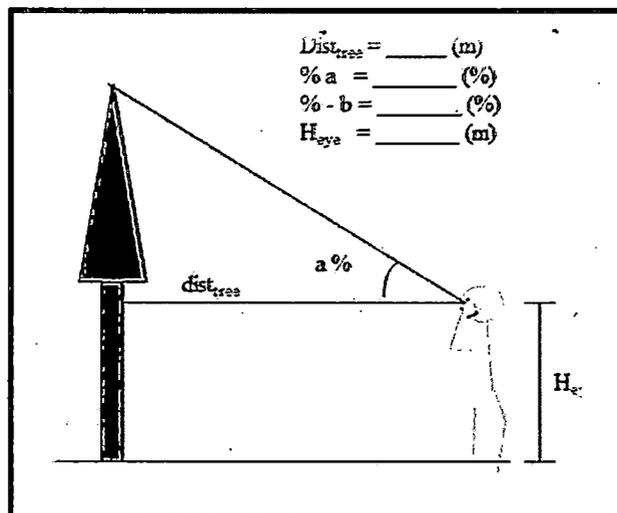


Figure 8 : Mesure de hauteur (Ecosystem Services Team Winrock International)

- **Calcul de la biomasse ligneuse**

Les différents compartiments du carbone sont au nombre de cinq (5):

- 1. Biomasse aérienne
- 2. Biomasse souterraine
- 3. Bois mort
- 4. Litière + humus
- 5. Sols organiques

La biomasse aérienne est celle qui fera l'objet de notre inventaire faute de temps et de moyens, la biomasse souterraine en sera déduite et pour ce qui est des 3 autres compartiments restant on utilisera les valeurs par défaut proposées par le GIEC en 2003.

Afin de bénéficier des crédits carbonés, il est important que des estimations fiables de stocks de carbone séquestrés dans les forêts soient réalisées. La quantification des stocks de carbone séquestré dans un arbre se fait aux moyens de deux méthodes (Hairia et al., 2001).

La première, dite méthode directe consiste à abattre et peser après séchage chaque compartiment de l'arbre (troncs, branches, souches et feuilles) afin d'obtenir sa biomasse réelle. La deuxième méthode, dite indirecte, consiste à déterminer la biomasse d'un arbre en utilisant le volume de son tronc et la densité de son bois. Bien qu'étant de loin la meilleure méthode, la mesure directe de la biomasse est destructrice et donc impossible à réaliser à grande échelle. C'est pourquoi on utilise comme alternative des équations ou modèles mathématiques, dits allométriques, qui permettent de prédire la biomasse d'un arbre à partir de ses paramètres dendrométriques que sont le diamètre et la hauteur ou la combinaison des deux (Brown et Lugo, 1982 ; Brown, 1997).

De façon générale, il est possible de définir l'allométrie comme étant la différence entre les proportions des différentes parties ou organes d'un organisme en fonction de la taille de cet organisme (Gould, 1966). Un modèle allométrique permet de convertir des mesures facilement disponibles, en quantités difficilement accessibles directement sur le terrain. La

plupart des études sur la biomasse emploient des modèles allométriques basés sur la quantification de la biomasse aérienne ligneuse.

Ces modèles allométriques, qui se construisent à partir des mesures directes de biomasse effectuée sur plusieurs arbres de diamètre et de longueurs différents, sont ensuite utilisés pour prédire l'évolution de la biomasse et donc la séquestration du carbone, sachant que 50% de la biomasse sèche d'un arbre est constitué de carbone et cela dans une forêt en fonction des paramètres démographiques du peuplement que sont la mortalité, le recrutement et la croissance des arbres. La combinaison des équations allométriques avec des données d'inventaire et de télédétection permet ainsi d'estimer la séquestration du carbone dans les forêts à des échelles régionales et continentales (Brown, 1997).

Beaucoup d'auteurs ont développé des modèles allométriques reposant sur le diamètre à 1,3m, la hauteur totale, et la densité du bois. Ces modèles ont été proposés sur la base d'une, deux ou trois variables indépendantes :

- le diamètre uniquement;
- le diamètre et la hauteur de l'arbre ;
- le diamètre, la densité du bois et la hauteur de l'arbre.

Dans cette étude, les différentes équations allométriques à utilisées sont pour estimer :

❖ Biomasse ligneuse aérienne :

- Sandra Brown 1997 (FAO) : $Y = \exp \{-2,134 + 2,530 \cdot \ln(D)\}$ (forêt tropical humide)
- Brown & Iverson (1992) : $Y = 1,276 + 0,034 (D^2 \cdot H)$
- Chave et al. (2005) : $Y = 0,112 \cdot (\rho D^2 H)^{0,916}$ (forêt sèche).

D = diamètre à 1,3 m H = hauteur totale de l'arbre ρ = densité de l'arbre.

Cette biomasse aérienne est ensuite convertie en stock de carbone par l'utilisation d'un facteur de fraction de carbone, fixé à 0,5 (GIEC, 2006). Le stock de carbone est ensuite converti en équivalent CO₂ grâce à l'utilisation des fractions moléculaires pour transformer les tonnes de carbone en tonne de dioxyde de carbone.

La conversion de kg C eq à kg CO₂ eq se fait en multipliant la valeur par 44/12, ce qui signifie que : 1 C eq = 3.67 CO₂ eq.

❖ Biomasse souterraine

La mesure de la biomasse souterraine peut se faire par 3 méthodes (méthode destructive, modèle allométrique et enfin par un facteur d'expansion (tige-racine)).

La biomasse souterraine constituée par le système racinaire n'est pas mesurée directement sur le terrain vue la complexité que cela requiert (voir figure 10). Elle est mesurée de manière indirecte à partir des valeurs de la biomasse aérienne en utilisant la méthode du ratio « tige-racine » R en multipliant la biomasse aérienne par le facteur 0,24 développé pour la zone tropicale (Cairns et al, 1997). Biomasse souterraine = R * Biomasse aérienne.



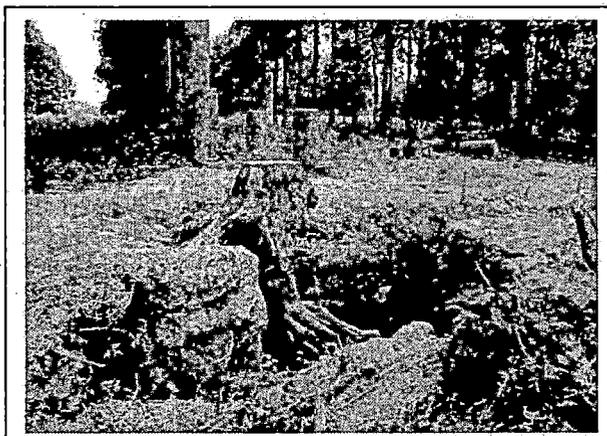


Figure 9 : Excavation et mesure de la biomasse racinaire des peupliers de la station INRA à Vézénobres (Gard). N. Girardin.

3.3 Protocole d'enquête

3.3.1 Objectifs

Ces enquêtes permettront de déterminer les relations entre populations et ressources naturelles (superficie et type de culture...), entre populations et gestionnaire forestier (conditions d'établissement et respect des contrats de culture) et connaître l'évolution des conditions de vie des populations (niveau de vie économique et social...).

Par ailleurs on fera ressortir les conséquences de l'activité des différents acteurs sur le puits de carbone de cette forêt et les savoirs endogènes face aux changements climatiques.

3.3.2 Les principaux acteurs répertoriés

Les différents acteurs répertoriés dans cette forêt sont : les populations, la Direction des eaux et forêts, l'APIX, et le Secteur privé.

3.3.3 Les différents groupes à interviewer

- Populations : (Association Développement Entre Aide de Fass Mbao, Groupement des exploitants maraichers et aviculteurs de BOUNE (GEMA), FEKKE FATH, Union de Femmes pour le Développement Endogène de Kamb (UFDEK), Collectifs des maraichers de Mbao, comités de surveillance).
- Direction des eaux et forêts (secteur forestier de Pikine)
- APIX
- Secteur privé : Kanoé kayak, Action enfance, ENDA Lead, SENOIL, Henan Chine
- Mairies de communes d'arrondissement : Mbao, Diamagueune sicap mbao, Keur Massar.

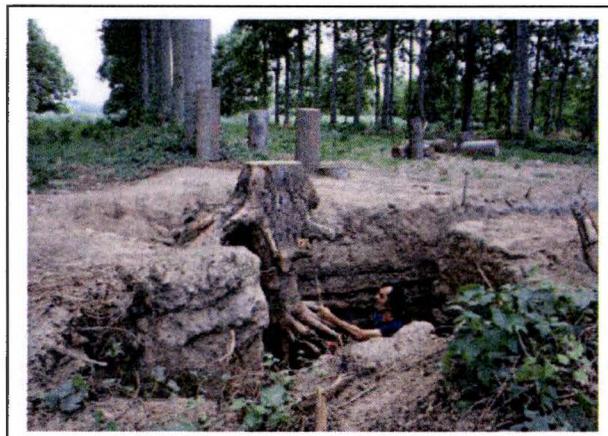


Figure 9 : Excavation et mesure de la biomasse racinaire des peupliers de la station INRA à Vézénobres (Gard). N. Girardin.

3.3 Protocole d'enquête

3.3.1 Objectifs

Ces enquêtes permettront de déterminer les relations entre populations et ressources naturelles (superficie et type de culture...), entre populations et gestionnaire forestier (conditions d'établissement et respect des contrats de culture) et connaître l'évolution des conditions de vie des populations (niveau de vie économique et social...).

Par ailleurs on fera ressortir les conséquences de l'activité des différents acteurs sur le puits de carbone de cette forêt et les savoirs endogènes face aux changements climatiques.

3.3.2 Les principaux acteurs répertoriés

Les différents acteurs répertoriés dans cette forêt sont : les populations, la Direction des eaux et forêts, l'APIX, et le Secteur privé.

3.3.3 Les différents groupes à interviewer

- Populations : (Association Développement Entre Aide de Fass Mbao, Groupement des exploitants maraichers et aviculteurs de BOUNE (GEMA), FEKKE FATH, Union de Femmes pour le Développement Endogène de Kamb (UFDEK), Collectifs des maraichers de Mbao, comités de surveillance).
- Direction des eaux et forêts (secteur forestier de Pikine)
- APIX
- Secteur privé : Kanoé kayak, Action enfance, ENDA Lead, SENOIL, Henan Chine
- Mairies de communes d'arrondissement : Mbao, Diamagueune sicap mbao, Keur Massar.

3.3.4 Méthodologie

- Pour chaque groupement de populations le choix des enquêtés s'est fait de façon aléatoire sur la base de la liste des membres reçus du secteur forestier de Pikine et les éléments de réponse ont été croisés en interviewant le chef du groupement dans le respect d'une approche genre.
- Pour ce qui est des mairies de communes d'arrondissement et du secteur privé, 3 acteurs ont été interviewés par groupe.

La méthode d'échantillonnage est dite alors stratifiée et aléatoire.

3.3.5 Les différentes thématiques à évoquer

Pour chaque acteur répertorié dans cette forêt (hormis la DEFCCS), nous avons cherché à savoir :

- Leurs conditions d'installation dans la forêt ;
- l'accès aux terres et leur exploitation ;
- leurs principales activités au sein de la forêt et leur impact sur la forêt, les facteurs de déforestation et de dégradation de la forêt et leurs impacts sur leurs activités ;
- les actions du PAFCM en faveur des acteurs et leur implication dans le processus d'aménagement ;
- Effets du changement climatique observables sur leurs activités et mesures d'adaptation.

Par ailleurs, auprès de la Direction des eaux et forêts (secteur forestier de Pikine) : on a cherché à savoir l'état des lieux des reboisements, les causes de la déforestation et de la dégradation des forêts, les modalités d'octroi des terres de culture.

Chapitre IV. Résultats et discussion

4.1 Résultats d'inventaire

La stratification à priori (pré-stratification) sur laquelle s'est basée l'échantillonnage s'est avérée pertinente même si on ne retrouve plus la strate de la savane herbeuse imputable à la dynamique forestière. Finalement la stratification retenue pour cette forêt se limite à 5 strates et l'inventaire a porté sur 22 placettes au lieu de 23 comme initialement prévu.

4.1.1 Caractéristiques de la forme du paysage

❖ Le rapport aire/périmètre

L'étude du rapport aire/périmètre permet de caractériser la forme d'un paysage. L'indice de forme représenté par $P/2\sqrt{\pi A}$ vaut 1 pour le cercle et 1,1 pour le carré. La détermination de l'aire et du périmètre de la forêt classée de Mbao à l'aide d'ArcGIS 10 révèle que cet indice vaut :

$$I = 124,61 / (2\sqrt{\pi} * 721,93) ; \quad I = 1,3$$

Donc la forme du paysage n'est ni un carré ni un cercle et ($I = 1,3$) est proche de l'unité et donc des formes standards (carré et cercle) ce qui indique une prépondérance de l'activité humaine se traduisant par une forme de plus en plus régulière du paysage.

❖ La dimension fractale du paysage

La dimension fractale quantifie la complexité de la forme de la tâche, les formes géométriques simples ou régulières telles le cercle, le carré ou le rectangle ont une dimension fractale proche de l'unité, c'est-à-dire le paysage est anthropisé, et lorsque la complexité de la frontière croît, la valeur de la dimension fractale se rapproche de deux (2).

L'installation des infrastructures routières, des services, des terres de culture contribuent à la fragmentation de la forêt. La fragmentation des habitats a été désignée comme la cause principale du déclin de la diversité biologique à l'échelle mondiale (Saunders et al, 1992). Dans le cas de cette forêt fortement anthropisée à travers les cultures, les services et les infrastructures, la dimension fractale serait très proche de l'unité.

❖ Indice de Dominance

L'estimation de la dominance indiquant la proportion d'aires occupées par la tache dominante dans la classe a aussi été calculée suivant la formule ci-dessous :

$$D = a_{\max} * 100 / a. \quad D = 294,62 * 100 / 721,93 = 40,81$$

L'indice de dominance est un indice de fragmentation, plus cet indice est élevé moins le paysage est fragmenté et donc moins de classes présentes (strates). La classe dominante de ce paysage est la strate de *Anacardium occidentale* dégradée.

4.1.2 Description de la forêt

❖ La strate de *Eucalyptus sp.*

Il s'agit de peuplement pur et bienvenant dont la densité est de 339 tiges/ha mais constitué de jeunes brins ce qui justifie une surface terrière faible (9,06 m²/ha), la composition spécifique est constituée à 78,69% de *Eucalyptus sp.*, suivi de *Anacardium occidentale*, de *Prosopis juliflora* et de *Faidherbia albida*.

La structure des peuplements (la distribution des tiges par catégorie de grosseur) est caractérisée par une courbe exponentielle décroissante (J inversé).



Figure 10 : Peuplements de *Eucalyptus sp* (Modou thiam)

❖ La strate de *Anacardium occidentale* fermé

Il s'agit de peuplements purs à 99% de *Anacardium occidentale*, la surface terrière étant la plus élevée (10,07m²/ha) pour une densité de 744 tiges par hectare. Ce sont des arbres bas branchus, les autres espèces rencontrées sont *Faidherbia albida*, *Lepisanthes senegalensis*, *Aphania senegalensis*, *Acacia seyal*, *Cactus sp*, *Andropogon gayanus*, *Euphorbia balsamifera*, *Boscia senegalensis*.



Figure 11 : Peuplements de *Anacardium occidentale* fermé (Modou thiam)

❖ La strate de *Anacardium occidentale* dégradé

Ce sont des peuplements très ouverts, la surface terrière reste faible (4,87 m²/ha) pour une densité de 239 tiges/ha. Le peuplement est pur avec 73,8% de *Anacardium occidentale*, la diversité spécifique est constituée de *Andropogon gayanus*, *Leptadenia astata*, *Indigofera tinctoria*, *Hibiscus rosa sinensis*, *Boscia senegalensis*, *Sesbania tachycarpa*, *Faidherbia*

albida, *Maytenus senegalensis*, *Lepisanthes senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*, *Acacia ataxacantha*, *Callotropis procera*, *Pennisetum violaceum*, *Momordica balsamina*, *Strophautus sarmentosus*, *Euphorbia balsamifera*, *Casuarina equisetifolia*, *Ziziphus mauritiana*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Balanites aegyptiaca*.

Ces strates sont souvent le lieu de zones de culture notamment de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), de celeri (*Apium graveolens* L.), de creusement de puits pour alimenter ces cultures, parfois ce sont des zones de savane avec des graminées annuelles où la régénération reprend.



Figure 12 : Peuplements de *Anacardium occidentale* dégradé (Modou thiam)

❖ La strate de culture maraîchère

Ces placettes sont caractérisées par une forte anthropisation, la surface terrière est très faible (0,42 m²/ha) pour une densité de 122 tiges/ha. Les placettes sont occupées par des cultures d'oignon (*Allium cepa*), de maïs (*Zea mays*), de menthe (*Mentha spicata* L.), on remarque la reprise naturelle de jeunes anacardes qui constituent près de 68% du peuplement. Les espèces rencontrées dans cette strate sont *Euphorbia tirucalli*, *Anacardium occidentale*, *Leptadenia astata*, *Faidherbia albida*, *Ipomea pes caprae*, *Tamarix sp*, *Strophautus sarmentosus*, *Andropogon gayanus*.



Figure 13 : Strate de culture maraîchère (Modou thiam)

❖ La strate de culture pluviale sous parc arboré

Il s'agit d'anciennes cultures, lesquelles cultures se pratiquent essentiellement en saison pluvieuse : ces cultures peuvent être : du bissap (*Hibiscus sabdarifa*), ou autres cultures.

Le nombre de tiges/ha est de 350 tiges/ha, pour une surface terrière de 6,34m²/ha, les peuplements sont constitués à 96,82% de taillis (rejets) de *Anacardium occidentale*, on

rencontre aussi *Faidherbia albida*, *Piliostigma reticulatum*, *Boscia senegalensis*, *Leptadenia astata*, *Andropogon gayanus*, *Indigofera tinctoria*, *Datura sp.*

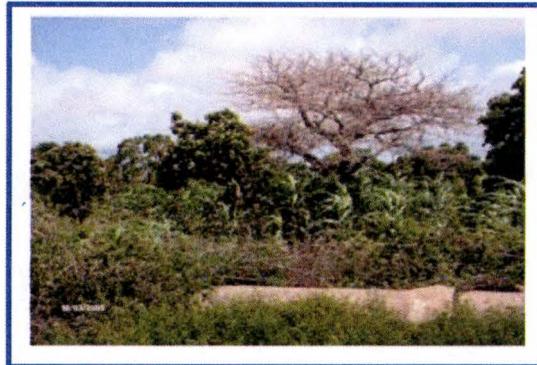


Figure 14 : Peuplements de culture pluviale sous parc arborés. Source PAFCM

4.1.3 Indice de biodiversité de Shannon H' et d'Équitabilité E (voir annexe 3).

Ces deux indices traduisent une combinaison de la richesse spécifique avec sa distribution spatiale.

$H' = -\sum P_i * (\ln P_i)$ avec $P_i = n_i/N$ où n_i est le nombre d'individus de l'espèce i et N , le nombre total d'individus inventoriés. L'indice de diversité de Shannon est une valeur positive. L'indice H' est associée à celui de l'équitabilité E de Piélou exprimé par la relation : $E = H'/H'_{max}$ où $(H'_{max} = \ln S)$. S représente la somme de toutes les espèces. Il traduit l'homogénéité de la répartition des espèces sur une aire géographique donnée.

❖ Hétérogénéité (H')

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont co-dominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à $\ln S$ (lorsque toutes les espèces ont même abondance).

$$H' = 1,3 \text{ et } \ln S = 3,4.$$

La richesse spécifique S est représentée par le nombre total ou moyen d'espèces recensées = 30.

Il y'a un grand nombre de classes (30 espèces) mais pour la plupart représentée en de très faibles proportions mis à part l'*Anacardium occidentale*, le milieu est moyennement hétérogène.

❖ Équitabilité

L'indice d'équitabilité de Piélou permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces).

$E_q = 0,38$: forte dominance d'une classe notamment l'*Anacardium occidentale* qui représente ici près de 70% des espèces inventoriées.

Conclusion partielle

Ces deux indices restent dépendants de la taille des échantillons et dépendant du type d'habitat. Leur valeur dans cette étude est relativement basse. En effet lorsqu'un petit nombre d'espèces (*Anacardium occidentale*, *Eucalyptus sp*) présentent de fortes abondances, cela se traduit par des valeurs faibles de H' et E . H' ne peut être interprétée en matière de perturbation du peuplement que si elle est accompagnée de l'indice d'équitabilité. La prise en compte de ces deux valeurs de manière concomitante est donc nécessaire pour apprécier l'état du milieu.

L'*Anacardium occidentale* est l'espèce qui occupe le plus de surface dans cette forêt (Cf. Indice de Dominance) mais aussi qui en compte le plus grand nombre d'individus.

Par ailleurs un test de corrélation de Pearson entre les paramètres dendrométriques (densités, surface terrières) et la biomasse ligneuse aérienne a été réalisée.

Parmi ces espèces rencontrées seules *Faidherbia albida* et *Ziziphus mauritiana* sont classées partiellement protégées par le Décret d'application du code forestier national.

4.1.4 Calcul du potentiel de séquestration de carbone de cette forêt

Les données dendrométriques ont fait l'objet des modélisations précitées (Chave et al 2005, Brown 1997, Brown et Iverson 1992) pour déterminer la quantité de carbone stockée à travers chaque modèle. La quantité de carbone séquestrée est la moitié de la biomasse calculée (IPCC, 2003).

Pour ce qui est des racines : biomasse souterraine = $0,24 \times$ biomasse aérienne (Cairns et al, 1997).

Les données recueillies traitées à l'aide d'un tableur de calcul de la biomasse séquestrée fournissent les résultats suivants :

4.1.4.1 Comparaison des différentes modélisations

Tableau 6 : Les placettes de plantations de *Eucalyptus sp*

Placettes	Coordonnées Cartésiennes	Surface terrière (m ² /ha)	Carbone (t/ha)		
			Brown 1997	Brown et Iverson 1992	Chave et al 2005
1	X= 0249600 Y= 1632000	3	9,01	6,46	8,34
2	X= 0248000 Y= 1632800	15,12	66,54	32,88	39,21
	Moyenne	9,06	37,78	19,67	23,77
	Carbone total de la strate		2331,03	1213,64	1466,61

Tableau 7 : les placettes de cultures pluviales sous parc arborés

Placettes	Coordonnées Cartésiennes	Surface terrière (m ² /ha)	Carbone (t/ha)		
			Brown 1997	Brown et Iverson 1992	Chave et al 2005
1	X= 0249600 Y= 1634000	6,51	23,18	5,24	5,25
2	X= 0250800 Y= 1633600	6,18	20,95	7,28	7,14
	Moyenne	6,34	22,06	6,26	6,19
	Carbone total de la strate		1445,37	410,15	405,57

D'après ces résultats, l'équation allométrique développée par Brown (1997) pour les forêts tropicales humides est : $Y = \exp \{-2,134 + 2,530 * \ln(D)\}$.

Cette équation, basée uniquement sur des mesures de diamètre, a été élaborée à partir des données recueillies par plusieurs auteurs de différents pays tropicaux et à différents moments. Les diamètres utilisés pour établir cette équation variaient de 5 à 148 cm, et le nombre d'arbres échantillonnés était de 170.

-Le modèle de Brown et Iverson (1992) est : $Y = 1,276 + 0,034 (D^2 * H)$. Ceci est basé sur la hauteur et le diamètre des arbres.

-Le modèle de Chave et al (2005) est : $Y = 0,112 * (\rho D^2 H)^{0,916}$

Ce dernier modèle adapté aux zones sèches concerne des diamètres compris entre [5-156 cm] et portait sur 2410 arbres.

Après avoir comparé les résultats de ces trois modèles, nous constatons que l'utilisation d'une équation allométrique ayant uniquement pour variable le diamètre à 1,3m (modèle de Brown, 1997) provoquerait une hausse de la valeur du carbone séquestré et cela de façon flagrante et souvent jusqu'au double, cela se justifie d'autant plus que cette formule a été établie en zone humide alors qu'on se trouve ici en zone sahélo-soudanienne (sèche).

Cette idée est cohérente avec celle de Chave et al. (2005) faisant croire que la hauteur est considérée comme une variable cruciale et en l'ignorant, cela donnerait lieu à la surestimation du carbone séquestré.

Concernant le résultat du deuxième modèle (Brown et Iverson, 1992) ayant comme variables le diamètre à 1,3m et la Hauteur et celui du troisième (Chave et al. 2005) ayant en plus la densité spécifique du bois séché, on constate qu'il y a un écart significatif entre leur valeur de carbone séquestré.

Sur ce, Baker et al. (2004) ont montré que des variations aboutissent à l'imprécision globale pour le calcul de la biomasse en ignorant la densité du bois. Par ailleurs, Chave et al. (2005) ont recommandé d'utiliser les modèles de régression incluant les informations sur le diamètre du tronc (en cm), sur la hauteur totale H (en m) et sur la densité sèche du bois (en g/cm³).

En outre, la densité des bois dans cette étude varie fortement selon les espèces, entre 0,431 g/cm³ pour l'*Anacardium occidentale* jusqu'au double avec 0,8 g/cm³ pour le *Prosopis juliflora*.

Il est donc avéré que la valeur de la densité influence la biomasse. Celle-ci dépend donc de la composition floristique c'est-à-dire de l'abondance de certaines espèces.

Partant de ces constats, pour cette étude le choix du modèle le plus satisfaisant devrait être celui incluant ces trois variables précitées : « le modèle de Chave et al. (2005) » adapté à la zone sèche.

4.1.4.2 Résultats de la séquestration du carbone selon le modèle de Chave et al 2005.

Tableau 8 : Estimation du carbone aérien

Strate	Surface terrière (m ² /ha)	Carbone (t/ha)	Carbone total (t)
Eucalyptus sp	9,06	23,77	1466,61
Cultures pluviales sous parc arborés	6,34	6,19	405,57
Cultures maraichères	0,42	0,50	29,89
Anacardium occidentale dégradé	4,87	9,37	2761
Anacardium occidentale fermé	10,07	11,10	1677
Total (forêt)			6340

La forêt stocke 6340 tonnes de carbone ce qui correspond à une quantité de 9,66 tonnes de carbone aérien /ha à l'échelle de la forêt.

L'analyse des résultats de la surface terrière révèle une forêt constituée de peuplements pauvres (surface terrière < 10 m²/ha) excepté la strate de *Anacardium occidentale* fermé qualifié de moyen.

Par ailleurs il existe une forte corrélation entre la surface terrière et le carbone séquestré. A cet effet l'analyse d'une courbe de tendance de la fonction puissance exprimant la variation du carbone séquestré (t/ha) en fonction de la surface terrière (m²/ha) révèle un coefficient d'ajustement $R^2 = 0,92$.

En outre, le véritable coefficient de variation de cette forêt estimée à partir de ces résultats obtenus par strate se situe autour de 76,04% pour un écart type de 8,5. Cette valeur du coefficient de variation est très nettement supérieure à celle utilisée dans le cadre du pré-inventaire (30,58%). Cette nette différence s'expliquerait par le fait que le coefficient de variation du pré-inventaire a été estimé seulement à partir du nombre de tiges/ha alors que celui de l'inventaire proprement dit exprimant la variation du stock de carbone dépend du nombre et de la grosseur des tiges. Cette valeur élevée montre une très forte variabilité du stock de carbone d'une strate à l'autre.

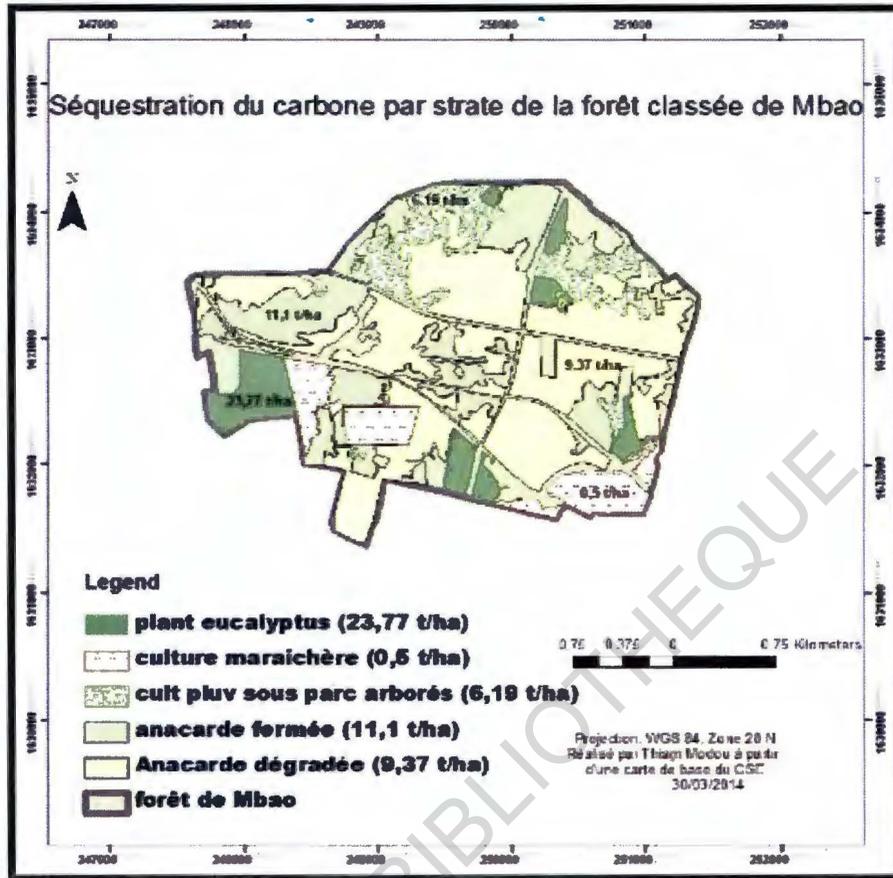


Figure 15 : Carte de séquestration du carbone par strate

C'est la strate de *Anacardium occidentale* qui séquestre le plus de carbone mais cela s'explique par le fait que cette strate compte le plus de placettes d'inventaires (11) et est donc la plus représentée. Ramenée à l'hectare c'est la strate de *Eucalyptus sp.* qui séquestre le plus de carbone (23,77 t/ha).

Tandis que celle des cultures maraichères séquestrent le moins de carbone (0,5 t/ha) cela s'explique par les activités humaines qui couvrent entièrement ces zones, en plus des cultures les populations y creusent des puits d'eau (ceyane), on y rencontre souvent très peu d'arbres (voir figure 17).



Figure 16 : Activités humaines sur la strate de culture maraichère (Modou thiam)

❖ **Calcul des erreurs statistiques :**

Sur le taux de sondage 0,3%, l'inventaire a été défini de manière à obtenir une estimation de la variable considérée représentée ici par la quantité de carbone séquestrée fortement corrélée à la densité (nombre de tiges/ha) ainsi qu'à la grosseur des arbres selon une précision minimale de 15 %, au seuil de probabilité de 95 %.

Selon la formule retenue de Chave et al, 2005 la valeur vraie du carbone séquestrée par la forêt se trouve dans cet intervalle [5389 ; 7291] avec 95% de chances de ne pas se tromper.

❖ **Estimation du carbone racinaire**

Biomasse souterraine = 0,24*biomasse aérienne.

D'où carbone souterrain = 0,24*6340 = 1521,6 tonnes.

En moyenne la forêt de Mbao séquestre 11,97 tonnes/ha de carbone total (aérien et souterrain).

❖ **Stock de carbone de la litière et de l'humus**

En zone tropicale, la quantité de carbone estimée de la litière et de l'humus combinés est évaluée à 2,1 tonnes/ha (IPCC, 2003) ce qui correspond à 1378,82 tonnes de carbone pour cette forêt.

❖ **Stock de carbone contenu dans le sol organique**

La quantité de carbone dans le sol organique en zone tropicale s'évalue à 33 tonnes/ha (IPCC, 2003) ce qui revient pour cette forêt à 21667,14 tonnes de carbone.

❖ **Stock de carbone total séquestré par strate**

Tableau 9 : Stock de carbone total

Strate / Carbone (tonne)	Aérien	Racinaire	Humus + litière	Sol	Total
<i>Eucalyptus sp</i>	1466,61	351,99	129,57	2036,1	3984,27
Cultures pluviales sous parc arboré	405,57	97,34	137,59	2162,16	2802,66
Cultures maraichères	29,89	7,17	125,54	1972,74	2135,34
<i>Anacardium occidentale</i> dégradé	2761	662,64	618,7	9722,46	13764,8
<i>Anacardium occidentale</i> fermé	1677	402,48	317,25	4985,31	7382,04
Total	6340	1521,61	1328,65	20878,77	30069,11

Vue la réalité de cette forêt après l'avoir parcouru, nous avons négligé l'estimation du carbone contenu dans le bois mort car cela paraissait insignifiant tandis que celle de l'humus + litière a été retenue même si dans le contexte de cette forêt elle paraît surévaluée. La quantité de carbone totale stockée dans cette forêt s'élève donc à 30069,11 tonnes de carbone soit 45,8 tonnes de C/ha.

❖ Essai d'approche de la méthodologie VCS (Verified Carbon Standard)

Le Verified Carbon Standard (VCS) est l'un des principaux standards pour la compensation carbone volontaire. Il fournit un ensemble crédible, mais simple de critères qui fourniront l'intégrité du marché volontaire en carbone.

On a utilisé la méthodologie approuvée VM0007 contenant 17 modules (5 représentant le puits de carbone, 3 modules de l'état de référence, 4 modules représentant les fuites, 2 modules (combinant l'état de référence, le scénario du projet et les fuites), 1 module de suivi, et 2 modules mixtes).

Tableau 10 : Les Modules du puits de carbone

Modules	Stock de carbone (t/ha)	Stock de carbone (total)
VMD0001	11,97	7859,26
VMD0002 - VMD0003	2,1*	1378,82
VMD0004	33*	21667,14

Surface forêt = 656,58 ha.

*= données par défaut du GIEC relative à la séquestration des sols en zone tropicale.

Tableau 11 : Les Modules de l'état de référence

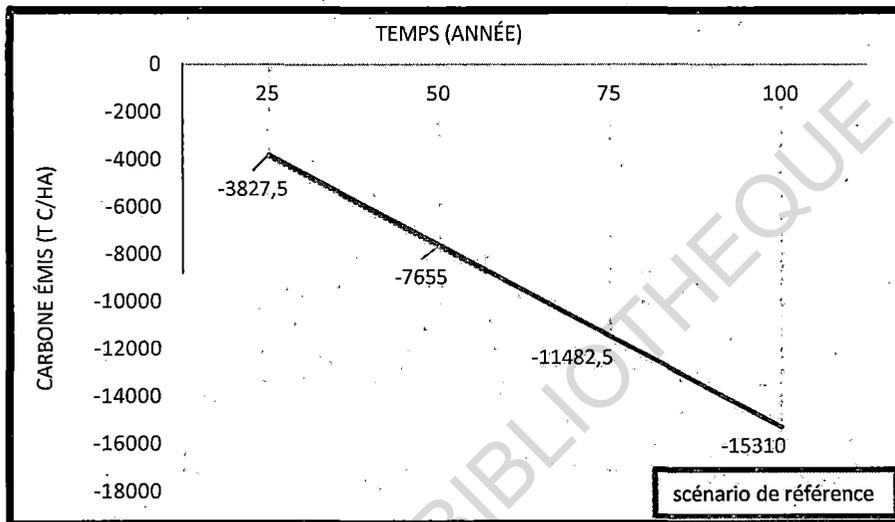
Modules	pertes de carbone (t/ha/an)
VMD0008	152,51

Les modules liés aux fuites (augmentation d'émissions de GES attribuable à la mise en œuvre des activités du projet mais à l'extérieur de la zone du projet) ne pourraient être traitées dans la présente étude car cela nécessiterait des investissements technologiques en faveur des populations (foyer amélioré, biogaz...) afin d'aboutir à une déforestation évitée dans la zone concernée et un suivi pour estimer la déforestation dans les zones voisines.

Par ailleurs, les accords de Marrakech en 2001 définissent un scénario de référence comme celui qui représente les émissions de gaz à effet de serre qui se produiraient en l'absence d'un projet proposé.

Le scénario de référence peut être défini dans le cas de cette étude par ces quatre (4) paramètres :

- Quantité de carbone total séquestré = 45,8 tonnes C/ha.
- Taux de carbone séquestré = 0,77 tonnes C/ha/an (**PROGEDE 2, 2009**).
- Emissions dues au sol organique = 1,36 tonnes C/ha/an. (**IPCC, 2003**).
- Le taux de déforestation de la forêt de Mbao n'étant pas évalué, nous sommes partis des superficies forestières nationales définies par le FRA (Forest Resource Assesment) en 2010, 2005, 2000 et 1990 avec le taux de déforestation correspondante, des ratios ont été déterminés et pondérés à la superficie de cette forêt (656,58 ha) ce qui nous donne en moyenne une perte de 3,33 ha/an correspondant à une émission de 152,51 t C/ha/an.



CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

4.2 Résultats d'enquêtes

4.2.1 Présentation des acteurs

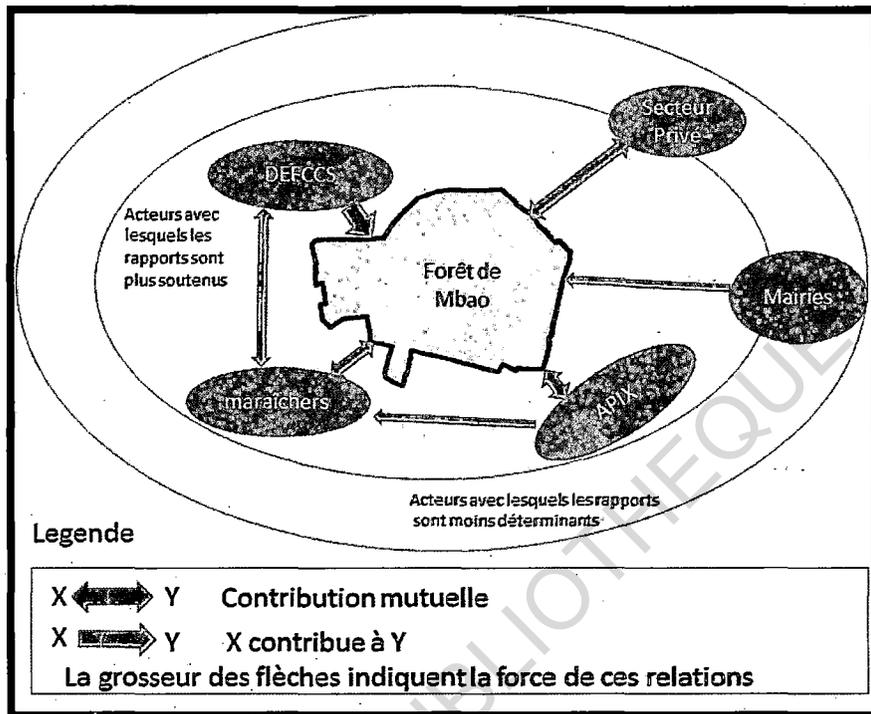


Figure 18: Diagramme de Venn adapté à la forêt de Mbao (Modou Thiam)

Le diagramme de Venn permet la représentation des ensembles et des relations de voisinage qui existent entre eux.

L'analyse de ce diagramme établi dans le cadre de la forêt de Mbao nous renseigne sur les interactions existant entre les différents acteurs de cette forêt :

- La DEFCCS et les mairies de communes d'arrondissement contribuent à la gestion de cette forêt, la 1^{ère} est responsable de sa gestion à travers le plan d'aménagement tandis que les mairies contribuent à son financement.
- Des contributions réciproques existent entre la forêt de Mbao et les groupements de maraîchers, l'APIX et le secteur privé. Une partie de la forêt sert d'emprise à l'autoroute à péage avec près de 35 ha, elle sert aussi d'installations aux acteurs du privé (Senoil, Veolia, Volconsa..) et offre des terres cultivables aux maraîchers. En retour, l'APIX contribue au financement du plan d'aménagement tandis que le secteur privé et les populations contribuent au processus d'aménagement (protection et reboisement).
- Enfin différents acteurs interagissent, l'APIX et la DEFCCS aident et contribuent au renforcement de capacités des populations (maraîchers, aviculteurs..) qui elles, en retour participent à la surveillance et la protection de la forêt.

4.2 Résultats d'enquêtes

4.2.1 Présentation des acteurs

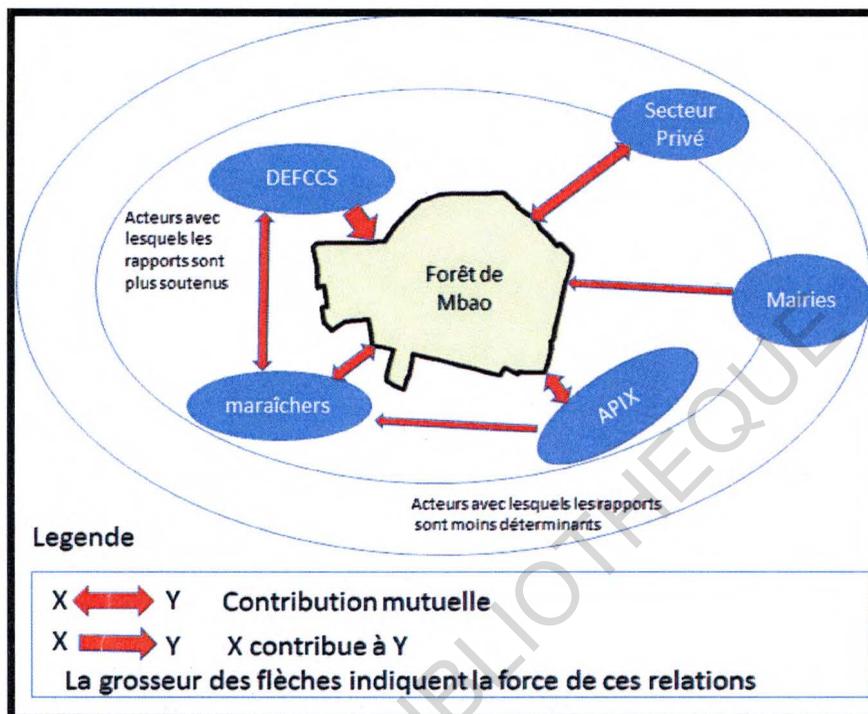


Figure 18: Diagramme de Venn adapté à la forêt de Mbao (Modou Thiam)

Le diagramme de Venn permet la représentation des ensembles et des relations de voisinage qui existent entre eux.

L'analyse de ce diagramme établi dans le cadre de la forêt de Mbao nous renseigne sur les interactions existant entre les différents acteurs de cette forêt :

- La DEFCCS et les mairies de communes d'arrondissement contribuent à la gestion de cette forêt, la 1^{ère} est responsable de sa gestion à travers le plan d'aménagement tandis que les mairies contribuent à son financement.
- Des contributions réciproques existent entre la forêt de Mbao et les groupements de maraîchers, l'APIX et le secteur privé. Une partie de la forêt sert d'emprise à l'autoroute à péage avec près de 35 ha, elle sert aussi d'installations aux acteurs du privé (Senoil, Veolia, Volconsa..) et offre des terres cultivables aux maraîchers. En retour, l'APIX contribue au financement du plan d'aménagement tandis que le secteur privé et les populations contribuent au processus d'aménagement (protection et reboisement).
- Enfin différents acteurs interagissent, l'APIX et la DEFCCS aident et contribuent au renforcement de capacités des populations (maraîchers, aviculteurs..) qui elles, en retour participent à la surveillance et la protection de la forêt.

4.2.2 Relations populations riveraines-ressources forestières

La présence d'acteurs pratiquant des activités au sein de cette forêt classée se justifie par cet article : « Dans les forêts classées, le service des eaux et forêts peut, sur certains terrains choisis par lui, en vue de leur enrichissement ou de leur reboisement en essences de valeur, passer avec des collectivités locales limitrophes des contrats de culture » (**Code forestier du Sénégal, 1998**).

Les conditions d'installation dans la forêt sont fonction de la nature de ces acteurs :

- Pour ce qui est des grosses installations (entreprises privées dans la forêt : Volconsa, Senoil, Veolia...), leur installation se fait sur protocole entre l'Etat et le concessionnaire sur la base d'un certain nombre d'engagement.
- Les petites installations (paysans, cultures hivernales) sont dans la forêt sur la base de contrats tacites avec le secteur forestier. Ces contrats tacites diffèrent des contrats de culture dans le sens où la durée n'est pas prévue alors que le contrat de culture est limité à 3 ans. Les populations restent cependant conscientes que les terres leur sont accordées de façon temporaire et que la reprise pourrait survenir à tout instant (absence de sécurité foncière).

Le secteur forestier prône une occupation saine et responsable de l'espace. L'installation des populations se fait suivant un certain service rendu à la forêt (assainir les zones de dépotoirs d'ordures avant de s'y installer, protection ou surveillance de jeunes plants de reboisement et des plantations d'arbres).

Du point de vue de la contribution financière, le PAFCM exige aux différents acteurs de contribuer à hauteur de :

- 5% de leur bénéfice annuel pour les maraîchers, aviculteurs ;
- 1 million de francs CFA³ par an pour les mairies de communes d'arrondissement ;
- 2 million de francs CFA par an pour le secteur privé (Senoil, Veolia, Volconsa...).

Mais jusqu'à ce jour aucune de ces contributions n'a été enregistrée. L'APIX quant à elle a eu à contribuer au PAFCM à hauteur de (900 millions de francs CFA).

A terme la forêt devrait fonctionner telle une véritable entreprise dont les richesses produites contribuent à sa maintenance, ce qui est loin d'être le cas.

- Contribution de la forêt à la vie des populations

Plusieurs types d'activités sont exercées au sein de la forêt contribuant à améliorer les revenus des populations parmi lesquelles : le maraîchage, la pratique des cultures hivernales, l'élevage (ovin, bovin, volaille), l'apiculture, la cueillette de produits non ligneux, le ramassage de bois mort, etc...

³ 1 USD = 473,769 FCFA 1Euro = 655,957 FCFA (cours moyens : 30/04/2014 ; 12h22min).
<http://www.xe.com/fr/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=EUR&To=XOF>

Les principales cultures pratiquées sont : la menthe verte (*Mentha spicata L.*), l'oignon (*Allium cepa*), le gombo (*Abelmoschus esculentus*), la laitue (*Lactuca*), aubergine (*Solanum melongena L.*), le piment (*Capsicum sp*), le poivron (*Capsicum sp*), le navet.

La culture la plus rentable est celle de la menthe verte (*Mentha spicata L.*) car elle présente moins de contraintes financière et physique et le risque de vol reste très faible.

L'apiculture quant à elle contribue à la production de biens et richesses aidant les comités de surveillance à se prendre en charge car les revenus seront redistribués suivant une clé de répartition.

Le commerce de noix d'anacarde suite au ramassage des graines est très prisé dans la zone.

Par ailleurs, les revenus du maraîchage sont souvent assez importants en fonction de l'organisation des groupements et la superficie de terre disponible. Selon le responsable de l'Association Développement Entre Aide de Fass Mbao (ADEF) leur revenu mensuel s'évalue à plus de 3 millions de francs CFA (4 576,3 Euro) par mois sur 4 ha soit 1144 Euro/ha.

Selon une étude réalisée par FALL en 2003 la production maraîchère de la forêt classée de Mbao s'élève à 122 050 000 Francs CFA (186179,54 Euro) pour une superficie de 35,25 ha soit 5773 Euro par ha en moyenne.

Pour les cultures pluviales ce sont des associations de mil (*Pennisetum glaucum*) – arachide (*Arachis hypogaea*) – haricot (*Phaseolus vulgaris L.*). Il a été recensé 197 personnes occupant une superficie de 145,37 ha soit en moyenne 0,74 ha par exploitant (PAFCM, 2010).

Les populations restent confrontées aux difficultés liées aux attaques d'insectes, d'accès à l'eau pour leur culture, la salinisation des sols et au manque de financement.

L'élevage de type extensif pratiqué par des peulhs joue un rôle socioéconomique et politique très important. En effet, celui-ci constitue leur épargne à long, moyen et court terme. Il est constitué par : les bovins, les ovins, les caprins et la volaille. Les essences qui dominent les pâturages sont : *Pennisetum sp*, *Alysicarpus ovalifolius*.

* - Impact des activités sur la fonction puits de carbone de la forêt *

Toujours à la recherche de terres de cultures, l'occupation illégale de la forêt (en dehors de tout contrat de culture) se poursuit suite au défrichement.

Les techniques de cultures pratiquées avec de courtes périodes de jachère (allant de 1 à 6 mois) contribuent à l'épuisement du sol, de plus l'utilisation irrationnel de l'engrais (NPK : 10 10 20) distribué par le secteur forestier afin de fertiliser les terres contribuent au réchauffement climatique.

Le fonçage des puits « céanes » qui sont des puits traditionnels de faible profondeur où le puisage se fait manuellement dans une zone où la nappe phréatique est sub-affleurante à affleurante permet certes aux producteurs d'accroître leur productivité, d'augmenter le nombre de cycles de culture par an (2,5-3,5), réduisant ainsi leur dépendance à la pluviométrie mais contribue grandement à l'émission du carbone du sol.

Enfin l'élevage non réglementé contribue au piétinement de la régénération.

4.2.3 Contribution des acteurs pour la gestion durable de la forêt

Pour une gestion durable des ressources forestières il faudrait une participation et une implication active des différents acteurs :

L'Etat devrait contribuer à :

- Consolider le statut de la forêt pour qu'elle devienne plus qu'une forêt classée et que le processus de déclassement c'est-à-dire d'installation soit plus difficile. Lier la forêt à des conventions internationales sur la base d'étude approfondie de ses potentialités à préserver (le marigot, nichoir de perroquets et de perruches, potentiel de séquestration de carbone).
- Promouvoir l'énergie du biogaz à travers le PNB-SN (Programme National de Biogaz domestique du Sénégal) qui représente une belle opportunité pour réduire la déforestation.

Les populations riveraines devront :

- Utiliser du compost (engrais organique), des engrais verts (enfouissement des résidus de culture) sinon de l'engrais chimique bien dosé pour des rendements meilleurs ;
- Réorganiser les groupements d'acteurs et leur mode de fonctionnement ;
- S'adapter aux nouvelles pratiques de la permaculture notamment la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS) qui permettent d'intensifier les cultures sur de petites surfaces que l'on valorise et stabilise en protégeant le sol et augmentant ses rendements.

En outre, l'agriculture étant un secteur fortement impacté par les changements climatiques, c'est dans cette optique que la convention de Rio en 1992 a fixé comme objectif de stabiliser les émissions de gaz à effet de serre « de manière à ce que la production de nourriture ne soit pas menacée ».

les forêts tropicales sont sensibles au changement climatique, ceux qui les gèrent ou les protègent devront adapter leur gestion aux conditions à venir. Les populations qui vivent dans les forêts dépendent de leurs produits et services et sont vulnérables aux changements des forêts, tant sur le plan social qu'économique.

La DEFCCS/secteur forestier de Pikine devra :

- Mettre en place une stratégie REDD⁺ au niveau national ;
- Maintenir cette forêt et faire aboutir son processus d'aménagement ;
- Implanter des postes vigies pour avoir une meilleure visibilité et surveiller la forêt ;
- Mettre en défens les périmètres de reboisement jusqu'à ce que les jeunes plants deviennent défensables vis-à-vis du troupeau ;
- Canaliser le bétail dans les zones agro-sylvo-pastorales de la série de production prévue par le PAFCM pour maîtriser le parcours ;
- Promouvoir et former les populations à d'autres activités génératrices de revenus (commerce organisé de fruits d'anacardiens, culture et transformation de la tomate sur place) ;
- Planter des végétaux résistants aux sels et qui fixent les cristaux salins (*Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia cyanophylla*) pour réduire la salinité des sols ;

- Renforcer les groupements paysans ainsi que la dynamique communautaire et les appuyer dans la gestion des ressources naturelles.

Le secteur privé et l'APIX devront :

- Mettre en place des micro-crédits pour les groupements paysans ;
- Participer activement et financièrement au processus d'aménagement et de gestion.

Ces propositions vont dans le sens du plan d'aménagement conformément au zonage préétabli répartissant la forêt en séries (agricole, de protection, de production et de récréation).

Au niveau international, un portefeuille de mesures d'adaptation et d'atténuation permettrait de diminuer les risques associés au changement climatique. Ce portefeuille comprendrait l'atténuation, l'adaptation, le développement technologique et la recherche (en climatologie, sur les impacts, l'adaptation et l'atténuation). Ce portefeuille devrait être combiné à des politiques et des approches basées sur les incitations et des actions à tous les niveaux, du citoyen au gouvernement national et aux organisations internationales.

4.3. Discussion

Dans cette étude, suite à une méthodologie d'inventaire de carbone réalisée suivant celle de **Pearson et al, 2005** ; l'estimation du carbone séquestré par la formule de **Chave et Al, 2005** a mis en évidence un taux de carbone aérien séquestré de 9,66 tonnes/ha soit 35,42 tonnes CO₂eq/ha.

Les résultats de Ngom en 2011 dans cette forêt ont révélé une quantité de carbone séquestrée de 7,92 tonnes/ha, ce qui a été estimée par un modèle n'incluant comme entrée que le diamètre à 1,3m et dans cette étude, la régénération était prise en compte.

Les études de Ngom révèlent par ailleurs que la strate qui stocke le plus de carbone est celle des Anacardiens ouverts (13,72 t/ha) suivi des Anacardiens fermés (5,05 t/ha) puis celle d'Eucalyptus (2,53 t/ha) ce qui, vu nos résultats ne paraissent pas en adéquation car le nombre de tiges à l'hectare ainsi que la surface terrière sont plus importants dans la strate des anacardiens fermés (10,07 m²/ha) par rapport à celle des Anacardiens ouverts (4,87m²/ha). Logiquement la strate des anacardiens fermés devraient séquestrer plus de carbone ce qui est confirmé par notre étude, les anacardiens fermés stockent (11,10 t/ha) tandis que les Anacardiens ouverts en comptent (9,37 t/ha).

En outre notre étude révèle que la strate de *Eucalyptus sp.* stocke le plus de carbone à l'hectare (23,77 t/ha) alors que dans les études de Ngom 2011, cette strate ne vient qu'en 3^e position cela pourrait s'expliquer par la modélisation utilisée, en effet Ngom 2011 a utilisé un modèle de quantification n'intégrant que le diamètre ce qui voudrait dire qu'un *Eucalyptus* et un anacardier de même diamètre séquestrerait la même quantité de carbone ce qui n'est pas raisonnable car les Eucalyptus sont hauts (autour de 15m) et les anacardiens sont bas (6-7m) de hauteur. L'intégration de la hauteur paraît donc déterminante dans notre contexte.

Par ailleurs, **Woomer en 2003** a montré que dans la vallée du fleuve Sénégal, le stock de carbone peut passer de 73,9 tonnes de carbone par hectare dans les systèmes forestiers à seulement 3,4 tonnes de carbone par hectare dans les zones cultivées. Ce constat se confirme avec la réalité de la forêt de Mbao où on passe d'un taux de séquestration de 23,77 tonnes de carbone dans la strate forestière à *Eucalyptus sp* à 0,5 tonnes de carbone par hectare pour les zones de culture maraîchères, cela est dû au défrichement des terres et l'espace de plus en plus important occupé par les cultures. Par conséquent, le facteur humain avec la pression sur les ressources ligneuses et terres peut induire des différences importantes. Ces résultats mettent en évidence le rôle que jouent les changements d'utilisation des terres dans le cycle global du carbone.

Dans le même ordre d'idées, le parc agroforestier à *Faidherbia albida* dispose d'un potentiel en stock de carbone (30,39 t C/ha) (**Ondo et Mbow, 2009**). Alors que dans notre contexte, les cultures pluviales sous parc arboré renferment (6,19 t/ha) et la strate de culture maraîchère pour une densité moyenne de 122 tiges/ha ne séquestre que 0,5 tonnes C/ha. Une prudence s'impose quant à la comparaison de ces résultats car le manque de rigueur scientifique et le nombre de facteurs influençant ces estimations (conditions agro-écologiques, facteurs locaux, pratiques de gestion) sont importants.

Par ailleurs, le prix de vente moyen des crédits A/R (afforestation/reforestation) sur le marché volontaire en 2011 selon **Ecosystem Marketplace (2012)** est de 8,5 US\$/tonnes CO₂eq. Or cette forêt présente un pouvoir de séquestration totale (tous les pools de carbone compris) de 30069,11 tonnes de carbone soit 110 253 tonnes CO₂eq. Donc sur le marché volontaire ce potentiel de séquestration vaudrait 937 150,5 US\$ soit encore 1427,32 US\$/ha.

Comparativement aux strates de cultures maraîchères qui séquestrent une très faible quantité de carbone (0,5t/ha) mais du point de vue économique elles présentent un apport considérable. A cet effet, selon l'étude réalisée par **FALL, 2003** repris par le PAFCM, la production maraîchère de la forêt classée de Mbao s'élève à 122 050 000 Francs CFA (250616,02 US\$) pour une superficie de 35,25 ha soit 7771,04 US\$ par ha en moyenne.

Certes l'apport économique à l'hectare des crédits carbone reste très inférieure (1427,32 US\$) au rendement des cultures maraîchères (7771,04 US\$) cependant, il est à préciser que ces crédits carbone s'accompagnent de co-bénéfices (sociaux et environnementaux) inestimables comme la biodiversité et la purification de l'air.

Au-delà du carbone, les forêts rendent de nombreux services environnementaux. Elles jouent un rôle important dans les cycles hydrologiques, la productivité des sols, comme ressource énergétique, alimentaire ou médicinale et dans les régimes climatiques : températures, qualité de l'air, pluviométrie (l'arbre stocke de l'eau et la restitue sous forme de vapeur. Cette évaporation est à l'origine des pluies et donc d'une disponibilité en eau accrue).

Les plantations d'arbres rendent de nombreux services comme la lutte contre l'érosion et la fertilisation des sols via l'apport de matière organique, la purification de l'eau et de l'air, la régulation du climat local.

En outre les études de Ngom, 2011 recommande que les reboisements privilégient les plantations de *Anacardium occidentale* ; même si elles contribuent à l'activité économique, insister sur les plantations d'*Eucalyptus sp* paraît plus judicieux car en plus d'un meilleur stock de carbone à l'hectare, ces plantations nécessitent moins de sylviculture et contribue à la fixation du sel dans le sol alors que les anacardiens bas branchus constitue un refuge de bandits et ne favorise pas la récréation.

Les résultats de Diouf, 2013 sur la séquestration du carbone de la forêt de Mbao sont difficilement comparables avec les nôtres car la méthodologie utilisée est complètement différente (estimation à l'aide du logiciel du GIEC pour l'inventaire des gaz à effet de serre).

Les arbres rencontrés dans cette forêt sont jeunes et pour les petits arbres, leur stock de biomasse est faible mais leur pouvoir de séquestration est plus élevé.

pour favoriser la dynamique de la séquestration il faut favoriser les petits individus et pour maintenir les stocks de carbone il faut protéger les grands sujets.

La déforestation libère le carbone naturellement stocké dans les forêts mais également réduit la capacité d'absorption globale de la biosphère, si bien qu'une tonne de carbone émise par déforestation contribue plus (de l'ordre de 50%) à l'augmentation de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone que l'émission d'une tonne de carbone fossile (Gitz, 2004).

Malgré son effet néfaste (contribution à la déforestation), l'autoroute à péage quant à elle demeure une belle initiative économique et sociale car on enregistre en moyenne comme trafic près de 20000 véhicules par jour et conséquemment aux 35 ha occupés par l'emprise, des engagements de reboisement à hauteur de 100 ha ont déjà été entreprises ce qui permettra de renforcer la densité des arbres et donc accroître sa séquestration en carbone.

La mise en place du PAFCM en lieu et place du PGES (Plan de Gestion Environnementale et Sociale) initialement prévue est bénéfique pour la forêt car le PGES se contentait d'une simple compensation financière des arbres coupés, alors que des écosystèmes entiers ont disparu.

Par ailleurs suite aux inventaires d'émissions réalisés à Dakar, nous avons comptabilisé 15.786.000 tonnes CO₂eq pour l'ensemble des postes (PCTI, 2013), la séquestration de la forêt de Mbao (110 253 tonnes CO₂eq) se révèle être une contribution d'atténuation non négligeable, même si la forêt se comporte aujourd'hui comme une source d'émission, la réalisation des reboisements (21,2 ha et 36,5ha respectivement en 2012 et 2013 selon le secteur forestier) renforçant ainsi la densité des peuplements, en plus de la jeunesse des peuplements et une meilleure gestion favoriseront un rôle de plus en plus prépondérant. Cependant, la résilience des forêts (c'est-à-dire leur capacité de reconstitution après des perturbations, tempêtes, incendies...) pourrait être affectée par le changement climatique.

Au vu de ces résultats, le rôle prépondérant des forêts dans la lutte contre les changements climatiques se justifie.

Certes l'atténuation est une solution aux changements climatiques et ses répercussions positives se manifestent au niveau mondial malgré des temps de réponses longs dans les systèmes climatiques et biophysiques, Il incombe toutefois, afin d'assurer la résilience des sociétés d'y associer l'adaptation avec ses retombées positives d'intérêt local à régional mais qui sont toutefois immédiates. L'atténuation est nécessaire parce que l'adaptation seule pourrait finir par aboutir sur une ampleur de changement climatique à laquelle l'adaptation ne serait possible qu'au prix de coûts sociaux, environnementaux considérables (IPCC, 2007). Par ailleurs, un changement climatique non atténué serait susceptible, à long terme, de dépasser la capacité des systèmes naturels, aménagés et humains à s'adapter. Dans le cadre de cette étude nous avons vu que la forêt classée de Mbaô contribue grandement à l'atténuation aux changements climatiques.

5. Conclusion et perspectives

Le réchauffement climatique est un fait réel dont la manifestation directe est une augmentation des températures terrestres du fait de l'augmentation graduelle des gaz à effet de serre (GES). Les impacts de ces changements climatiques sont nombreux et affectent différents secteurs de la vie économique par la modification des processus biophysiques qui jusque-là ont connu un certain équilibre relatif.

Le secteur de la foresterie est lié de façon inextricable au changement climatique. Les traités internationaux cherchent à protéger les forêts contre les effets du changement climatique mondial et à exploiter leurs capacités particulières de l'atténuer et de sauvegarder les sociétés humaines.

Le secteur forestier est compté parmi les secteurs les plus dynamiques et les plus prometteurs de l'atténuation aux changements climatiques.

Au terme de cette étude, nous pouvons retenir que le modèle de Chave et al 2005 est le plus adapté à l'estimation du stock de carbone de cette forêt.

La forêt de Mbaô stocke par sa biomasse aérienne 9,66 tonnes de carbone/ha. La strate de *Eucalyptus sp* renferme le plus de carbone (23,77 tonnes) à l'hectare tandis que la strate de culture maraîchère en renferme le moins (0,5t/ha) mettant ainsi en exergue l'impact négatif des activités agricoles sur la fonction de puits de carbone de cette forêt, mais elle contribue fortement à l'amélioration des conditions de vie des populations.

Du point de vue de la dynamique du carbone, cette forêt se comporte comme une source de carbone dans l'atmosphère en raison de la transformation de la forêt en terres de culture et de l'implantation d'infrastructures socio-économiques.

Par ailleurs, les populations sont très peu conscientes de l'effet des changements climatiques sur leurs activités agricoles, mais la mise en évidence du potentiel de séquestration de cette forêt est un facteur important de mise en valeur de ses potentialités. Afin de réduire le risque d'échec et les conséquences sociales négatives de projets de déforestation évitée, il convient de fournir aux agents de la déforestation une alternative de développement économique propre.

La lutte contre les changements climatiques demande donc à mettre en place des actions qui réduisent les émissions des gaz à effet de serre, mais également des actions qui augmentent la résilience des systèmes naturels et socio-économiques aux changements futurs du climat.

En perspectives, l'utilisation des modèles allométriques conçus dans d'autres zones géographiques et climatiques constituent une limite dans l'évaluation précise de la séquestration du carbone de cette forêt, il est important de définir des modèles propres à notre zone climatique et à la structure de nos forêts.

Par ailleurs le taux de sondage de 0,3% s'avère faible car d'après l'expérience acquise, les taux de sondage optimaux sont compris entre 0,5 % et 2,5 % (ATIBT, 2006).

De plus la détermination du taux d'accroissement de toutes les espèces présentes dans cette forêt permettrait à l'avenir de mieux peaufiner nos prévisions.

En outre, il serait nécessaire de mettre à jour les données cartographiques de cette forêt grâce aux données de la télédétection car la dynamique aidant, la strate de savane herbeuse a disparu et en réalité, la strate de *Anacardium occidentale* dégradée n'est rien d'autre qu'une zone ou des éclaircies et élagages ont été pratiquées par le service forestier.

Enfin il est utile d'établir une stratégie REDD⁺ nationale du Sénégal pour assurer une gestion durable des forêts conformément à la lutte contre les changements climatiques.

Dans un futur proche, il sera nécessaire de disposer d'informations sur l'évolution avec le temps des coûts et des avantages des actions menées pour prendre des décisions sur le compromis entre les avantages immédiats et localisés des mesures d'adaptation et les avantages mondiaux à long terme des mesures d'atténuation.

Bibliographie

- Arrouays, D., W. Deslais, J. Daroussin, J. Balesdent, J. Gaillard, J.L. Dupouey, C. Nys, V. Badeau, S. Belkacem, 1999 :** Stocks de carbone dans les sols de France : quelles estimations ? Comptes Rendus Académie d'Agriculture de France vol.85 n°6, pp 278-292. Conférence Tenue le 19 Mai 1999.
- Arrouays, D., J. Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana, P. Stengel, 2002 :** (eds.). Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expert scientifique collective. Rapport (INRA).334 p.
- ATIBT, 2006 :** Association Technique Internationale des Bois Tropicaux ; Formation de forestier aménagiste et de gestionnaire forestier, module 4, Inventaire d'aménagement ; 59p.
- Baccini, A., S. J. Goetz, W. S. Walker, N. T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P. S. A. Beck, R. Dubayah, M. A. Friedl, S. Samanta & R. A. Houghton, 2012:** Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. In Nature Climate Change 2, pp182-185 (2012), doi:10.1038/nclimate1354, Publié le 29 Janvier 2012.
- Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeida, L. Arroyo, A. Di Fiore, T. Erwin, N. Higuchi, T.J. Killeen, S.G. Laurance, others, 2004:** Increasing biomass in Amazonian forest plots. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences., 359, pp.353-365. doi: 10.1098/rstb.2003.1422. Publié en 2004.
- Bisiau, J.P., (2005) :** Construire un diagramme ombro thermique. 21p.
- Bogaert, J., 2013 :** Analyse systémique appliquée à l'aménagement du territoire, aux paysages et au développement intégré, Chapitre 6, la composition du paysage : définition et quantification ; 21p.
- Brown, S., 1997:** Estimating biomass and biomass change of tropical forest: A primer (FAO).55p.
- Canadell, J.G., Ciais, P., Cox, P. et M. Heimann, 2004 :** Quantifying, understanding and managing the carbon cycle in the next decades. Climatic Change 67 (2-3): 147-160. Publié en Décembre 2004.
- Cairns, M.A., S. Brown., E.H. Helmer. et G.A. Baumgardner, 1997:** Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia, 111(1): 1-11. 28. Publié en 1997.
- Code forestier du Sénégal, 1998 :** Loi n° 98-164 du 20 février 1998 portant code forestier. 10p.
- Colin, A., 2004 :** convention de prestation IFN/CRPF-n° 2004-03-056 IFN Bordeaux Novembre 2004.
- Chave, J., C. Andalo., S. Brown., M. A. Cairns., J. Q. Chambers., D. Eamus., H. Folster., F. Fromard., N. Higuchi., T. Kira., J. P. Lescure., B. W. Nelson., H. Ogawa., H. Puig., B. Riéra., T. Yamakura, 2005 :** Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance. In tropical forests in Oecologia vol 145: 87-99, doi:10.1007/s00442-005-0100-x, Publié le 22 Juin 2005.
- Chave, J., R. Condit., S. Lao., J.P. Caspersen., R.B. Foster., S.P. Hubel, 2003:** Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: Result from a large census plot in Panama. In Ecology, 91., pp 240-252. Publié en 2003.
- Décret d'application du code forestier, 1998 :** Loi n°98-164 du 20 février 1998:

Deuxième communication nationale à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, 2010 : 176 p.

Diouf. B., 2013 : Ecosystèmes et changements climatiques : Essai de quantification du carbone séquestré par les ligneux de la forêt classée de Mbao (Dakar). Mémoire soutenu en vue d'obtenir le Master en Biologie Animale. 51p.

Doucet. J.L., 2013 : Gestion durable et certification forestière, Chapitre 1, Principaux climats et unités de végétation en zone tropicale ; 146p.

Dupouey. J.L., G. Pignard, V. Badeau, A. Thimonier, J.F. Dhote, G. Nepveu, L. Berges, L. Augusto, S. Belkacem, C. Nys, 1993 : Stock et flux de carbone dans les forêts françaises. Comptes Rendus Académie d'Agriculture de France vol 85 n°6, pp 293-310. Conférence tenue en 1993.

Ecosystem Marketplace, 2012: Developing Dimension: State of the Voluntary Carbon Markets 2012.

Hairiah. K., S.M. Sitompul., M. van Noordwijk., C. and Palm, 2001: Carbon stocks of tropical land use systems as part of the global C balance: effects of forest conversion and options for 'clean development' activities. ASB Lecture Note 4A, ICRAF, Bogor. <http://www.icraf.cgiar.org/sea>.

Humphreys. D., 2008: The politics of 'Avoided Deforestation': historical context and contemporary issues. *International Forestry Review*, 10 (3), pp 433-442. doi:org/10.1505/ifer.10.3.433, publié le 1 Septembre 2008.

FAO, 1995 : Approche participative, communication et gestion des ressources forestières en Afrique Sahélienne : bilan et perspectives.

FAO, 2010 : Les perspectives du financement carbone pour les projets d'agriculture, de foresterie et d'autres affectations des terres dans le cadre des petites exploitations agricoles ; 39 p.

FAO, 2012 : Situation des forêts du monde; 52 p.

FRA, 2010 : Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 ; Rapport principal, 377p.

GIEC, 2001 : Bilan 2001 des changements climatiques: Les éléments scientifiques; Rapport du groupe de travail 1; 97 p.

GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques : contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC. Genève, 104p.
Disponible sur : http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html.

Gitz. V., 2004 : Usage des terres et politiques climatiques globales. Thèse en vue d'obtenir le grade de Docteur de l'ENGREF, Spécialité : Sciences de l'Environnement ; 411p.

Gould, S. J., 1966 : Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biological Reviews* 41:587440. Publié en 1966.

Guo. L.B. et R.M. Gifford, 2002 : Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. In *Global Change Biology* 8(4):345-360. Doi: 10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x, Publié le 23 Novembre 2002.

INTAC, 2011: Projet d'Intégration de l'Adaptation au Changement Climatique au Sénégal. Recueil des meilleures pratiques en matière d'Adaptation au Changement Climatique au Sénégal ; 157 p.

- IPCC, 2003:** Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Hayama, Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003; 590p.
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp3/App_3a1_HWP.pdf.
- IPCC, 2006:** Guidelines for National GHG Inventories. Volume 5: Waste.
- IPCC, 2007:** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ; pp 104.
- Locatelli. B., M. Kanninen, M. Brockhaus, C.J.P, Colfer, D. Murdiyarso, H. Santoso, 2008 :** Face à un avenir incertain / Comment les forêts et les populations peuvent s'adapter au changement climatique 85 p.
- Lugo. A.E. et S. Brown, 1993:** Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. Plant and Soils. 149. pp. 27-41.
- Maldague, M., 2004 :** Traité de gestion de l'environnement tropical, Tome I, Précis de développement intégré des régions naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 398. 27p.
- Mbow. C., 2009 :** Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudano guinéennes du Sénégal ; 319p.
- CTFT (1989) :** Centre Technique Forestier Tropical ; Mémento du forestier ; 252p.
- Morrison. I.K., N.W. Foster. et P.W. Hazlett, 1993 :** Carbon reserves, carbon cycling, and harvesting effects in three mature forest types in Canada. In New Zealand journal of forestry science 23(3): 403-412. Publié en 1993.
- Ngom. P.J., 2011 :** Contribution des massifs forestiers à la lutte contre la pollution par la séquestration du carbone atmosphérique : Cas de la forêt de Mbao. Mémoire de fin d'étude ; 53p.
- Ondo et Mbow 2009 :** Contribution à la Connaissance des Stocks de Carbone et de l'Adaptation des Populations aux Changements Climatiques: Cas du Parc agroforestier à *Faidherbia albida* (Del.) A.Chev. de la Communauté Rurale de Touba Toul (Sénégal).
- ONFI, 2010a :** REDD+ à l'échelle projet: guide de développement et d'évaluation. ONF International. Paris, 220 p.
- PAFCM, 2008 :** Plan d'aménagement de la forêt classée de Mbao ; 123 p.
- PANA, 2006 :** Plan d'Action National pour l'Adaptation aux changements climatiques ; 84 p.
- PCTI, 2013 :** Réalisation d'un diagnostic énergétique et bilan des émissions de gaz à effet de serre du Plan Climat Territorial Intégré de Dakar ; 21p.
- Pearson. T., S. Walker. and S. brown, 2005:** Sourcebook for Land use, Land-use change and forestry Projects; 64p.
- PSE, 2013:** Plan Sénégal Emergent 2013-2035; 103p.
- PFS, 2006 :** Politique Forestière du Sénégal 2005-2025 ; 105 p.
- PNUE, 2010 :** Notre vision pour la période 2010-2013 <http://www.unep.org/climatechange/>
- PNUD, 2011 :** Rapport sur le développement humain 2011 /Durabilité et équité : Un meilleur avenir pour tous. 185p.

- PROGEDE 2, 2009** : Deuxième Projet de Gestion Durable et Participative des énergies traditionnelles et de substitution. rapport provisoire ; 90p.
- Rapport Annuel, 2009** : Rapport annuel du secteur forestier de Pikine ; 34p.
- Richter, H.G. and Dallwitz, M. J. (2000 onwards)** : Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval.
- Rondeux, J., 1999** : La mesure des arbres et des peuplements forestiers, Presses Agronomiques de Gembloux, pp : 375-460.
- Sall, M., S.M. Tall, A. Samb, 2011** : Changements climatiques, stratégies d'adaptation et mobilités. Evidence à partir de quatre sites au Sénégal; 44 p.
- Saunders, D., Hobbs, R.J. and Margules, C.R. 1992** : Biological consequences of habitat fragmentation : a review. Conservation Biology, Vol. 5, No. 1: 18-32, publié le 14 juillet 2005. doi: 10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x.
- St-laurent, S., C. Camiré. et R. Ouimet, 1995**: Méthodologie d'échantillonnage des sols du Réseau de Surveillance des Écosystèmes Forestiers (RESEF) et préparation des échantillons pour fins d'analyse. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources tropicales; Tome 1 Fascicule 6, Evolution et analyse du concept d'environnement, 22 p.
- SNDES, 2012** : Stratégie Nationale de Développement Economique et Social (2013-2017) ; 59p.
- UNFCCC, 2001**: Report of the conference of the parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 october to 10 November 2001.
- UNFCCC, 2005**: Préserver le climat. Guide de la Convention sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto (édition révisée, 2005); 45p.
- UNFCCC, 2007**: Investment and financial flows to address climate change 272p.
- VCS, 2013** : Verified Carbon Standard, Approved VCS Methodology VM0007. Version 1.4, 3 May 2013, Sectoral scope 14, REDD Methodology Modules, 25p.
- Walker, W., A. Baccini., M. Nepstad., N. Horning., D. Knight., E. Braun. et A. Bausch, 2011**: Field Guide for Forest Biomass and Carbon Estimation. Version 1.0. Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA; 53p. www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/V9974F/V9974F00.html.WW.
- Woomer, P.L., 2003**: Field and laboratory guidelines for carbon characterization in African drylands. Senegal and Sahel Carbon Project : Planning Design and implementation Workshop. Dakar Senegal : 11-15 Mars 2003 Sacred, 20pp.

Annexes

Annexe 1

FICHE DE PRE-INVENTAIRE

Date :	Nom du pointeur :	Opérateurs :
Coordonnées UTM du centre de la placette	X :	Y :
Nombre de tiges/1256m² :		
N° d'arbre	Diamètre (cm)	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Annexe 2

Fiche d'inventaire

Forêt : Mbao Commune : Village : Strate : Placette :						
<u>Coordonnées GPS de la placette</u>						
Centre du cercle :						
<u>Age du peuplement :</u>						
<u>Types de sol</u>						
Sol fin limoneux		Sol gris à horizon humifère			Sol brun rouge dégradé	
<u>Action anthropique</u>						
Intensité du parcours	Nulle		Moyenne		Intense	
Délits (type et intensité)	Coupe bois vif		Ecimage		Ebranchage	
	Nulle	Existante	Faible	Intense	Faible	Intense
Espèces concernées						
Culture (type et superficie)	Présence			Absence		
	type	Superficie				
Infrastructure	Présence			Absence		
	type	superficie				
<u>Etat de régénération</u>						
Espèces	Hauteur < 50 cm		50 cm < hauteur < 1m		Hauteur > 1 m	
<u>Principales espèces rencontrées</u>						
arborées		arbustives			herbacées	
<u>Mesures dendrométriques</u>						
N° d'arbre et espèce		Diamètre (1,3m)			Hauteur	
1						
2						
3						
4						

Annexe 3

Etude de l'indice de biodiversité et d'égalité de SHANNON

espèces	nombre d'individus	Pi	lnPi	Pi*lnPi
Eucalyptus sp	75	0,11520737	-2,16102153	-0,24896561
Acacia ataxacantha	4	0,00614439	-5,09221528	-0,03128857
Prosopis juliflora.	6	0,00921659	-4,68675017	-0,04319585
Maytenus senegalensis	6	0,00921659	-4,68675017	-0,04319585
Andropogon gayanus	8	0,01228879	-4,3990681	-0,05405921
Pennisetum violaceum	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Faidherbia albida	18	0,02764977	-3,58813788	-0,09921119
Anacardium occidentale	462	0,70967742	-0,34294475	-0,24338015
Euphorbia tirucalli	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Leptadenia astata	10	0,01536098	-4,17592455	-0,06414631
ipomea pes caprae	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Tamarix sp	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Strophautus sarmentosus	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Boscia senegalensis	6	0,00921659	-4,68675017	-0,04319585
Indigofera tinctoria	13	0,01996928	-3,91356028	-0,07815097
Datura sp.	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Piliostigma reticulatum	2	0,0030722	-5,78536246	-0,01777377
Lepisanthes senegalensis	11	0,01689708	-4,08061437	-0,06895047
Acacia seyal	2	0,0030722	-5,78536246	-0,01777377
Cactus	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Euphorbia balsamifera	4	0,00614439	-5,09221528	-0,03128857
Balanites aegyptiaca	8	0,01228879	-4,3990681	-0,05405921
Ziziphus mauritiana	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Casuarina equisetifolia	2	0,0030722	-5,78536246	-0,01777377
Momordica balsamina	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Strophautus sarmentosus	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Callotropis procera	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Pennicetum violaceum	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Sesbania tachycarpa	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
Hibiscus rosa-sinensis	1	0,0015361	-6,47850964	-0,00995163
	651	1		-1,29573193
H= -∑ pi ln(pi)				1,3
S, Hmax			30	3,4
H/Hmax				0,38

