



Université d'Abomey-Calavi (U.A.C)

Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (F.L.A.S.H)



Ecole Doctorale Pluridisciplinaire "Espace, Culture et Développement"
(E.D.P)

Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A)

Option : Géosciences de l'Environnement et Aménagement de l'Espace

N°.....d'enregistrement/EDP/FLASH/UAC

**DYNAMIQUE DU COUVERT FORESTIER ET EVALUATION DU
STOCK DE CARBONE DANS LA FORET CLASSEE DES MONTS
KOUFFE EN REPUBLIQUE DU BENIN : SECTEUR DE L'UNITE
D'AMENAGEMENT DE LA RESERVE**

Présenté par :

Ismaël MAZO

Sous la direction de :

Prof. Dr Ir Brice A. SINSIN
Professeur Titulaire
FSA/UAC

Dr Omer A. THOMAS
Maître de Conférences
DGAT/FLASH/UAC

Jury

Président : Prof. Brice A. TENTE Professeur Titulaire (DGAT/FLASH/UAC)
Rapporteur : Dr Omer A. THOMAS Maître de Conférences (DGAT/FLASH/UAC)
Examineur : Dr Julien G. DJEGO Maître de Conférences (FSA/UAC)

Mention : Très Bien

Soutenu le 23 / 05 / 2016

SOMMAIRE

SIGLES, ABRVIATIONS ET ACRONYMES	3
DEDICACE.....	4
REMERCIEMENTS	5
RESUME.....	6
ABSTRACT	7
INTRODUCTION.....	8
CHAPITRE I : CARDRE THEORIQUE.....	10
CHAPITRE II : CARDRE GEOGRAPHIQUE DE LA RECHERCHE.....	14
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES	24
CHAPITRE IV : RESULTATS	34
CHAPITRE V : DISCUSSION.....	56
CONCLUSION	60
PERSPECTIVE POUR LA THESE	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
ANNEXES	71
LISTE DES FIGURES.....	79
LISTE DES TABLEAUX.....	80
TABLES DES MATIERES	81

SIGLES, ABRVIATIONS ET ACRONYMES

AGB	:	AboveGround Biomass (Biomasse Aérienne Globale)
CCNUCC	:	Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques
CENAP	:	Centre National de Pédologie
CGCM	:	Modèle de Circulation Générale Canadien
CILSS	:	Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CO ₂	:	Dioxyde de Carbone
ETP	:	Evapotranspiration Potentielle
FAO	:	Food and Agriculture Organisation for the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
FCMK	:	Forêt Classée des Monts Kouffé
GES	:	Gaz à Effet de Serre
GIEC	:	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GPS	:	Global Positionning System
Ha	:	Hectare
IPCC	:	Intergovernmental Panel on Climate Change
LaCarto	:	Laboratoire de Cartographie
LEA	:	Laboratoire d'Ecologie Appliquée
MDP	:	Mécanisme de Développement Propre
MEA	:	Millenium Ecosystem Assessment
MgC	:	Mégatonne de Carbone
MS	:	Matière Sèche
OIBT	:	Organisation Internationale des Bois Tropicaux
PAMF	:	Plan d'Aménagement des Massifs Forestiers
PPM	:	Parties Par Millions

DEDICACE

Aux enseignants et chercheurs du Laboratoire de Cartographie (LaCarto).

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé grâce à l'appui financier du projet IPAF-TD (du Laboratoire de Cartographie) financé par le programme GEOFORAFRI. Que les initiateurs et acteurs du projet et du programme reçoivent nos sincères remerciements.

Les remerciements vont à l'endroit du Directeur de mémoire, Prof. Brice A. SINSIN, Recteur de l'Université d'Abomey-Calavi et Directeur du LEA (Laboratoire d'Ecologie Appliquée) qui aujourd'hui constitue pour les jeunes chercheurs un modèle pour ses qualités scientifiques exceptionnelles. Nos sincères remerciements au Co-directeur, Dr Omer A. THOMAS, Maître de Conférences des Universités/CAMES, Directeur du Laboratoire de Cartographie (LaCarto) au Département de Géographie et Aménagement du Territoire à l'Université d'Abomey-Calavi. Merci à tous les enseignants-chercheurs de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH/UAC, merci pour la qualité de leurs enseignements.

Nos très sincères remerciements à l'endroit des enseignants et chercheurs du Laboratoire de Cartographie notamment aux Dr Ismaïla TOKO IMOROU, Directeur Adjoint du Laboratoire de Cartographie, Dr Ousséni AROUNA, Dr Mama DJAOUGA, Dr Soufouyane ZAKARI pour l'esprit de promotion, de compréhension et de qualités scientifiques qu'ils ont fait montre et qui ont contribué à l'aboutissement du présent mémoire.

Nous remercions également à tous les membres du LaCarto en particulier Ir. Erick SOGBOSSI pour ses encouragements et son apport scientifique, Drs Abib G. SABI OROU BOGO, Drs Nourou Deen TOKO, Drs Housérou DJIBRIL et Drs Idrissou BIO SANNOU pour leurs soutiens de toute nature.

Nos sentiments de fraternité aux sieurs Djalil A. MOUSSA, Gildas K. S. MENSAH, Sébastien KOUTA et Yaya M. ISSIFOU pour leur sympathie et leur franche collaboration lors des travaux de terrain.

À l'endroit de la famille SETONDJI, en particulier monsieur Daniel SETONDJI et son épouse madame Bernadette TOYIHIN, messieurs Gildas-Patrick et Henri Dunant SETONDJI pour vos soutiens respectifs.

En fin pour tous les frères, sœurs, cousins, cousines, oncles, tantes, parents et amis qu'ils trouvent dans ce mémoire la consécration de tous leurs sacrifices.

RESUME

Dans un contexte de changements climatiques, la quantification de la biomasse forestière et des stocks de carbone correspondants est un enjeu scientifique majeur. La présente recherche vise à analyser la dynamique du couvert forestier et à quantifier le stock de carbone dans la forêt classée des Monts Kouffé dans le secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve. La cartographie du couvert végétal à partir des données planimétriques, l'utilisation des modèles allométriques pour la quantification de la biomasse et l'estimation du stock de carbone à base des données dendrométriques ont été les principales méthodes utilisées. La cartographie du couvert forestier a révélé que 81,95 % des forêts denses sèches et 70,13 % des forêts galeries sont converties en savane arborée et arbustives et en plantation avec un taux moyen d'expansion spatial respectif de -16,74 % et -12,07 %. Les forêts claires et les savanes boisées ont été les seules formations végétales qui ont progressé avec un taux de conversion de 37,55 % et un taux moyen d'expansion spatiale de 2,1 %. La biomasse dans le secteur d'étude varie en fonction des modèles et des formations végétales. La biomasse dans les forêts galeries est de 716996,71 tonnes.MS (295,05 tonnes.MS/ha) et 726495,94 tonnes.MS (298,96 tonnes.MS/ha) respectivement pour les modèles All types et Dry. Pour le modèle de Brown, la biomasse est de 1198332,84 tonnes.MS (493, 12 tonnes.MS/ha). Dans les forêts denses sèches, la biomasse est de 241317,57 tonnes.MS avec 128,03 tonnes.MS/ha pour le modèle All types et 250640,82 tonnes.MS avec 132,98 tonnes.MS/ha pour le modèle Dry. Au sein de cette formation avec le modèle de Brown, la biomasse est de 419522,81 tonnes.MS (222,57 tonnes.MS/ha). Dans les forêts claires et savanes boisées, les modèles All types et Dry ont indiqué 3586676,11 tonnes.MS (61,37 tonnes.MS/ha) et 3947488,8 tonnes.MS (67,55 tonnes.MS/ha). Celui de Brown a indiqué 6958966,69 tonnes.MS (119,08 tonnes.MS/ha). Dans les savanes arborées et arbustives, le modèle de Mbow, a indiqué une valeur de 2655582 tonnes.MS (71,67 tonnes.MS/ha). Par contre, les modèles All types et de Brown ont indiqué respectivement 17581600,58 tonnes.MS (47,45 tonnes.MS/ha) et 3372555,87 tonnes.MS (91,02 tonnes.MS/ha). L'estimation du stock de carbone a montré que les forêts claires et les savanes boisées ont emmagasinés 1793338,05 tonnes de carbone. Respectivement, les savanes arborées et arbustives, les forêts galeries et les forêts denses sèches ont stockés 879080,29 tonnes, 358498,36 tonnes et 120658,79 tonnes.

La présente étude permet de disposer d'éléments quantitatifs convaincants (taux de séquestration de CO₂, taux de croissance de biomasse) qui puissent favoriser les investissements (projet MDP) dans les actions de compensations carbone par les forêts en République du Bénin.

Mots clés : Biomasse, modèles allométriques, couvert forestier, Unité d'Aménagement de la Réserve, forêt classée des Monts Kouffé.

DYNAMIC OF THE FOREST TABLE SETTING AND ASSESSMENT OF THE CARBON STOCK IN THE MONTS KOUFFÉ FOREST RESERVE IN REPUBLIC OF BENIN :
SECTOR OF THE UNIT OF THE RESERVE LAND

ABSTRACT

In a context of climate change, the quantification of forest biomass and associated carbon stocks is a major scientific challenge. This research aims to analyze the dynamics of forest cover and quantifying the carbon stock in the Monts Kouffé forest reserve in the sector Unit of the Reserve Land. The vegetation mapping from planimetric data, the use of allometric models for quantification of biomass and estimation of carbon stock based on dendrometric data were the main methods used. The forest cover mapping revealed that 81.95 % of the dense dry forests and 70.13 % of the galleries are converted forests to other land occupation units with an average of respective spatial expansion of -16.74 %, and -12.07 %. Clear forest and savanna woodlands are the only vegetation that grew with a conversion rate of 37.55 % and an average rate of spatial expansion of 2.1 %. The biomass of the sector varies by model and plant formation. Biomass in the gallery forests is 716996.71 tonnes.MS (295.05 tonnes.MS/ha) and tonnes.MS 726,495.94 (298.96 tonnes.MS/ha) respectively for the All types and for Dry models of Chave *et al.*. For the Brown model, biomass is 1198332.84 tonnes.MS (493, 12 tonnes.MS/ha). In dry dense forests, biomass is 241,317.57 tonnes.MS with 128.03 tonnes.MS/ha for All types model and 250640.82 tonnes.MS with 132.98 tonnes.MS/ha for Dry model of Chave *et al.*. Within this formation with Brown's model, biomass is tonnes.MS 419522.81 (222.57 tonnes.MS/ha). In clear and woodlands forests, Dry and All types models of Chave *et al.* indicate tonnes.MS 3586676.11 (61.37 tonnes.MS/ha) and 3947488.8 tonnes.MS (67.55 tonnes.MS/ha). Brown's model shows tonnes.MS 695896669 (119.08 tonnes.MS/ha). In tree and shrub savannah, Mbow's model, indicates a value of 2655582 tonnes.MS (71.67 tonnes.MS/ha). By against the All types model of Chave *et al.* and Brown model respectively indicate tonnes.MS 17581600.58 (47.45 tonnes.MS/ha) and tonnes.MS 3372555.87 (91.02 tonnes.MS/ha). The estimate of carbon stock shows that clear forests and woodlands have stored 1793338.05 tonnes of carbon. Respectively, the tree and shrub savannah, galleries and dense dry forests forests have stored 879080.29 tonnes and 358498.36 tonnes and 120658.79 tonnes.

The present survey permits to have convincing quantitative elements (rate of sequestration of CO₂, growth rate of biomass) that can encourage the investments (MDP project) in the actions of compensations carbon by the forests in Republic of Benin.

Keywords : Biomass, Allometric models, forest cover, Unit Reserve improvement, Monts Kouffé forest reserve.

INTRODUCTION

L'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère est maintenant reconnu pour être la principale cause des changements climatiques. Selon plusieurs auteurs, les événements météorologiques extrêmes se traduiront par une augmentation de la température terrestre et de la fréquence d'événements météorologiques extrêmes, ainsi que par une élévation du niveau des océans (Boer *et al.*, 2000). La dégradation de l'environnement en termes de gaz à effet de serre, l'émission du dioxyde de carbone, l'amincissement de la couche d'ozone, la dégradation des terres, la rareté de l'eau, la déforestation et d'autres calamités sont considérés comme une menace pour le bien être de la population (Alamgir *et al.*, 2008). La forêt, notamment tropicale, se trouve au cœur de ces menaces, aussi bien pour ses enjeux écologiques, sociaux qu'économiques. Elle a trois grandes influences sur les changements climatiques : fournir un puit de carbone qui, lorsqu'il est dégradé, est très sensible à l'évolution du climat ; fournir un service environnemental unique en régulant le CO₂ de l'atmosphère et offrir une alternative aux combustibles fossiles (Alamgir *et al.*, 2008).

L'estimation des stocks et, surtout, de flux de carbone sont devenus en quelques années un enjeu majeur de la politique environnementale internationale, dans l'optique d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les forêts jouent un rôle central dans cette comptabilité, puisqu'elles contiennent, dans nombre de pays, la majeure partie du stock de carbone et qu'elles peuvent jouer un rôle non négligeable dans la limitation des émissions nettes de carbone (Dupouey et Pignard, 2001). En effet, leur capacité à piéger le carbone de l'atmosphère et à le stocker en fait un moyen essentiel de l'atténuation du réchauffement climatique. Néanmoins, les niveaux de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère sont passés de 280 ppm dans la période préindustrielle à 400 ppm en 2013, soit une augmentation de 42 %. Cet accroissement des émissions de gaz à effet de serre (GES) par les activités de l'homme a eu comme effet d'augmenter très rapidement la température moyenne mondiale depuis 1860 et d'amorcer ainsi des changements climatiques (Boer *et al.*, 2000). Or, les prévisions, si aucune action n'est prise, sont alarmantes : doublement de la concentration (550 ppm) à la fin du 21^e siècle (GIEC, 2001). Selon le Modèle de circulation générale canadien (CGCM), une augmentation de 3,5°C à la surface de la planète serait à prévoir lors du doublement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère vers 2100 (Ministère des ressources naturelles du Canada, 2004). Les forêts jouent alors un rôle majeur dans le cycle global du carbone.

La végétation et les sols forestiers emmagasinent environ 60 % du carbone terrestre total (Winjum *et al.*, 1992). Il semble donc normal que le secteur de la foresterie ait retenu l'attention de nombreux chercheurs ces dernières années pour son potentiel dans l'atténuation des

changements climatiques. Les stratégies d'intervention suivantes ont été retenues (Schroeder *et al.*, 1993 ; Mitchell Aide *et al.*, 2000 ; Oelbermann *et al.*, 2004) : diminuer les émissions de GES en luttant contre la déforestation ; maintenir les puits actuels de carbone en protégeant les écosystèmes forestiers existants ; augmenter les superficies forestières par des activités telles que le reboisement (ou la reforestation) et la réhabilitation de terres dégradées ou abandonnées. Dans le contexte décrit précédemment, de nombreux pays ont décidé de poser des actions concrètes afin de contrer le processus de réchauffement planétaire enclenché. Ainsi, afin de diminuer les coûts des engagements des pays industrialisés, le Protocole de Kyoto s'est doté d'un mécanisme de flexibilité, appelé le mécanisme pour un développement propre (MDP), permettant d'instaurer un marché mondial du carbone (CCNUCC, 2005). Cette réalité entraîne un intérêt grandissant pour les projets de séquestration du carbone basés sur des espèces ligneuses qui emmagasinent dans leur biomasse, via la photosynthèse, une quantité considérable de cet élément (Montagnini et Nair, 2004).

La présente recherche qui vise à cartographier la dynamique du couvert forestier et d'évaluer le stock de carbone est subdivisée en cinq (05) chapitres :

- le premier chapitre présente le cadre théorique de la recherche,
- le deuxième est consacré au cadre d'étude,
- le troisième chapitre relate le matériel utilisé et la démarche méthodologique adoptée au cours de la recherche,
- le quatrième chapitre expose les résultats obtenus et enfin
- le cinquième chapitre aborde la discussion des résultats.

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE

1.1 Problématique

Les changements climatiques sont dus à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (ILWAC, 2013). Il est devenu évident que l'augmentation de ces gaz dans l'atmosphère et les changements climatiques qui en résultent auront des effets majeurs au 21^{ème} siècle (ILWAC, 2013). Ce siècle qui a fini par mobiliser la communauté internationale à travers une dynamique institutionnelle et décisionnelle pour des solutions collectives appropriées aux changements climatiques (Mbow, 2009). A travers les nombreux rapports scientifiques, les dégagements de CO₂ sont considérés comme principal gaz à effet de serre ciblé par la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques à travers les engagements de Kyoto. Dans le contexte actuel, l'augmentation des émissions de carbone est l'une des principales préoccupations d'aujourd'hui qui a été traitée au Protocole de Kyoto (Ravindranath *et al.*, 1997) parce qu'elle est le principal facteur responsable du réchauffement climatique (Lal, 2001).

Les inquiétudes que suscite la destruction des forêts du monde, en particulier celle des forêts tropicales, se sont considérablement accrues au cours des deux dernières décennies, et se sont traduites par diverses initiatives visant à inverser cette tendance et à élaborer des stratégies et des actions en faveur de l'aménagement forestier durable (OIBT, 2002). Durable : c'est ainsi qu'est qualifiée la gestion des forêts tropicales depuis une vingtaine d'années. C'est du moins, l'objectif qui a été officiellement adopté par la communauté internationale lors du sommet de Rio en 1992, soulignant que « les ressources et les terres forestières doivent être gérées d'une façon écologiquement viable afin de répondre aux besoins sociaux, économiques, écologiques, culturels et spirituels des générations actuelles et futures » (Nations Unies, 1992 b). La gestion durable des forêts s'est instituée comme le paradigme dominant en matière de gestion des espaces forestiers. Elle est présentée, notamment en zone tropicale, comme seule capable de répondre efficacement à l'urgence environnementale de la fin du XX^e siècle (Leroy *et al.*, 2013). Les forêts tropicales, réparties sur une superficie de 13,76 millions de km², représentent 60 % des forêts (FAO, 2005) et jouent un rôle clé dans le cycle mondial du carbone tant au niveau des flux de carbone que du volume de carbone stocké. Les forêts contiennent environ 80 % des stocks globaux de carbone ligneux aérien et 40 % du carbone total (sol, feuille, racines). Pourtant, au cours de ces vingt dernières années, les forêts, et plus encore les forêts tropicales, ont continué à être soumises à d'intenses pressions engendrant un rythme de déforestation qualifié d'« alarmant » par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Sur la période 2000-2010, le taux brut moyen de déforestation a ainsi été de

13 millions d'hectares (ha) par an pour une surface forestière mondiale d'environ 4 milliards d'hectare (FAO, 2011).

Dans la mise en œuvre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (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, déforestation, érosion) ; ou de séquestration si des activités sont menées en termes de reforestation et de reconstitution des terres dégradées. Cette perception a entraîné une attention particulière sur les capacités de fixation de carbone par les forêts et les savanes africaines. En Afrique, on estime que les forêts denses humides fixent environ 0,63 MgC/ha/an mais la déforestation tropicale mondiale contribue environ à un cinquième du total des émissions annuelles des gaz à effet de serre d'origine anthropique dans l'atmosphère (Damien, 2011). Ce constat nous amène à comprendre les modifications de la composition de l'atmosphère, les cycles hydrologiques, les apports solaires ainsi que les modifications du cycle biogéochimique du carbone, sachant qu'un hectare de forêt peut séquestrer jusqu'à 2 à 5 tonnes de carbone par an (Negi *et al.*, 2003). On reconnaît ainsi le rôle important des forêts dans les cycles biogéochimiques globaux, en particulier le cycle du carbone (MEA, 2005).

Les perturbations qui entraînent une libération du carbone peuvent être d'origine naturelle ou être provoquées par l'homme. Au Bénin, plusieurs études ont montré que la forte dégradation de la végétation est liée à de nombreux facteurs naturels et anthropiques (Toko Mohamadou, 2014 ; Arouna, 2012 ; Sounon Bouko, 2011 ; Sinsin *et al.*, 2008 ; Oloukoï *et al.*, 2006 ; Vodougnon, 1996). Ce sont notamment des processus qui entraînent la conversion des forêts ou la dégradation des terres. Parmi ces processus, on peut citer l'agriculture, le pâturage, l'exploitation du bois, la carbonisation, les feux de végétation, etc. Cet état des lieux montre que l'action de l'Homme, par une exploitation démesurée des ressources naturelles, a fini par compromettre l'environnement. Cependant, il est certain que la réduction de la dégradation de la végétation ligneuse pourrait contribuer, à travers une gestion durable des ressources naturelles, d'une part à réduire la quantité de carbone libérée par la décomposition de la matière organique et d'autre part à l'augmentation de la capacité de séquestration du carbone atmosphérique par la végétation naturelle régénérée. Le captage, la séquestration et la libération de carbone par les forêts sont étroitement liés au dynamisme et à la vigueur de cette dernière. De plus, très peu d'études (Ajonina, 2013 ; Saïdou *et al.*, 2012 ; Kaire *et al.*, 2008) ont été réalisées en forêt tropicale africaine en général et en forêt béninoise en particulier pour mesurer leur potentiel de séquestration du carbone. Plusieurs questions de recherche sont formulées à partir de ces constats :

- quelle est l'évolution du couvert végétal dans le secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin entre 2003 et 2013 ?
- quelle est la variation de la biomasse aérienne ligneuse dans le secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin ?
- quelle est la quantité de carbone séquestrée dans le secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin ?

C'est pour répondre à ces questions que l'étude portant sur « Dynamique du couvert forestier et évaluation du stock de carbone » a retenu notre attention dans la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin, secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve.

Plusieurs objectifs déclinés en objectif global et spécifiques sont fixés dans le cadre de cette étude.

1.2 Objectif global

L'objectif global de cette étude est d'évaluer la dynamique du couvert forestier et le stock de carbone dans la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin.

1.3 Objectifs spécifiques

De façon spécifique il s'est agi de :

- déterminer la dynamique du couvert forestier de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé entre 2003 et 2013 ;
- estimer la variation de la biomasse aérienne ligneuse de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé ;
- évaluer le stock de carbone séquestré par l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.

1.4 Hypothèses de recherche

Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été émises :

- le couvert forestier de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé connaît dynamique régressive due aux actions anthropiques ;
- la biomasse aérienne ligneuse de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé varie selon les modèles allométriques ;
- les arbres à grands diamètres de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé stockent de grandes quantités de carbone.

1.5 Clarification des concepts

❖ Biomasse

La biomasse est définie comme la masse totale de matière organique d'une plante vivante, exprimée en tonnes anhydres ou en tonnes anhydres par surface unitaire (Magnussen et Reed, 2013).

❖ Couvert forestier

Terre avec un couvert arboré (ou une densité de peuplement) supérieur à 10 % et d'une superficie supérieure à 0,5 ha. Les arbres doivent être capables d'atteindre une hauteur minimum de 5 m à maturité *in situ*. Cela comprend soit les formations forestières fermées où les arbres de différents étages et sous-étages couvrent une grande partie du terrain, ou les formations forestières ouvertes avec un couvert végétal continu dans lesquelles le couvert arboré excède 10 %.

❖ Dynamique de l'occupation des terres

La dynamique est un changement résultant d'un jeu de forces (Brunet, 1997). Selon Ndao 2009, la dynamique l'occupation des terres est un changement de la couverture biophysique de la surface des terres émergées entre deux dates sous l'impulsion d'un facteur climatique ajouté à un facteur humain. Dans cette logique, le mot dynamique signifie le changement d'état ou de surface des formations végétales et autres unités d'occupation des terres dans le temps et dans l'espace dans cette étude.

❖ Unité d'Aménagement

L'Unité d'Aménagement est une division géographique de la forêt gérée par un certain nombre de villages dans une seule entité géographique en vue de participer à la cogestion avec l'administration et à l'aménagement de ladite forêt classée (PAMF, 2007).

❖ Modèles allométriques/Equations allométriques

Ce sont les modèles qui visent à prédire une grandeur difficile à mesurer (AGB) de l'arbre à partir de caractéristiques dendrométriques faciles à mesurer telles que le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur totale ou l'âge de l'arbre (Picard *et al.*, 2013).

Etant donné que cette recherche s'est fait sur un espace géographique donné, le chapitre II présente le cadre géographique de cet espace.

CHAPITRE II : CARDRE D'ETUDE

Le chapitre II présente la situation géographique, le milieu biophysique et les caractéristiques socio-économiques du secteur d'étude.

2.1 Situation géographique

La forêt classée des Monts Kouffé (180.300 ha selon l'arrêté de déclassement n° 2484 SE du 8 mars 1957 portant abrogation de l'arrêté n° 2078 SE du 21 avril 1949) est située entièrement dans la commune de Bassila, Département de la Donga. Elle se situe entre 1°40' et 2°15' de longitude Est et entre 8°25' et 8°50' de latitude Nord. Le massif est limité au sud et à l'ouest par la rivière Adjiro, la rivière Abintaba. Au nord par la rivière Djoffo, la rivière Odola et à l'est par la rivière Ouémé. La forêt classée des Monts Kouffé est subdivisée en trois unités d'aménagement à savoir l'unité d'Aménagement A, B et E. L'Unité d'Aménagement E encore appelée Unité d'Aménagement de la Réserve correspond au secteur d'étude et se situe entre 8° 29' et 8° 32' de latitude nord et entre 1° 56' et 2° 13' de longitude est. Elle est limitée à l'est par l'Ouémé au sud par la rivière Adjiro. Elle est séparée de l'unité d'aménagement A par les cours d'eau Aboudjini au sud et Kpâla Kikommata et de l'unité B par la ligne de thalweg qui finit au point de coordonnées X= 390747 et Y= 977944 (PAMF, 2007). La figure 1 présente la de situation géographique du secteur d'étude.

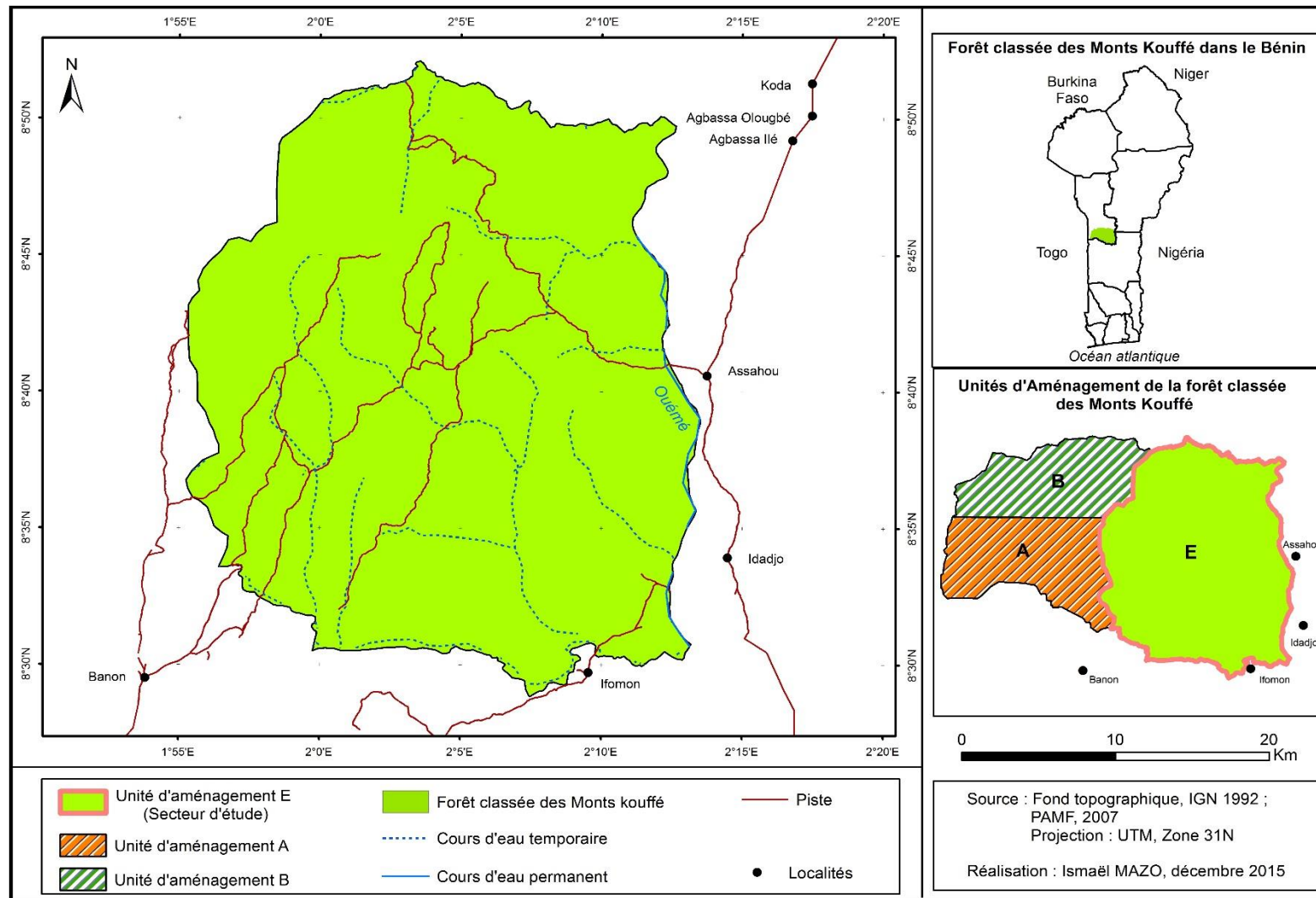
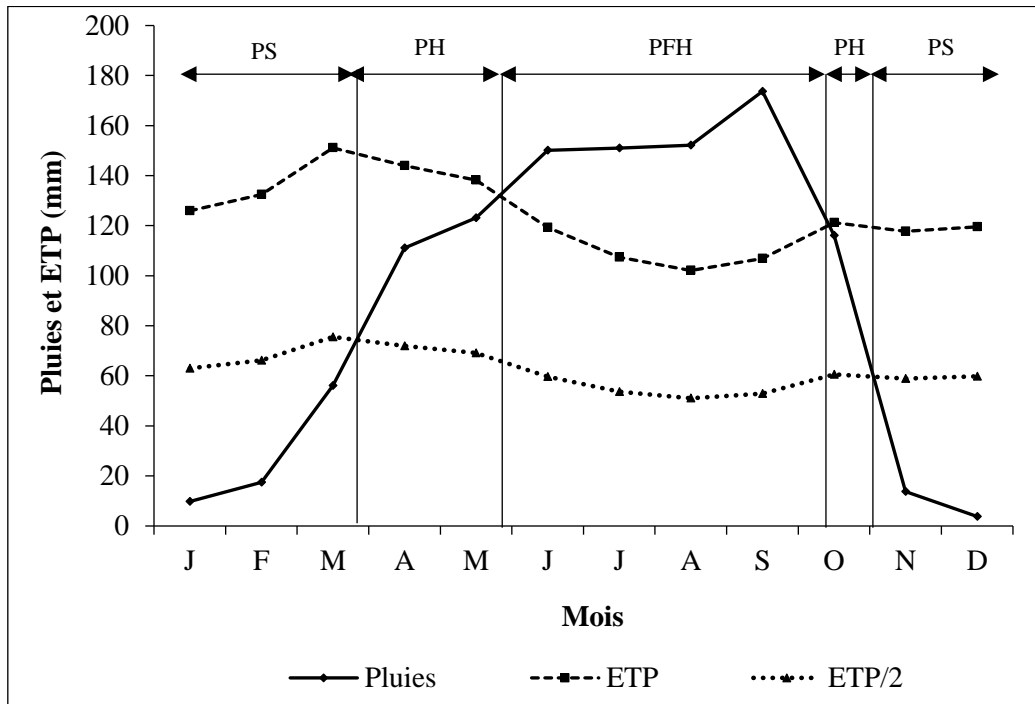


Figure 1 : Carte de situation géographique de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé

2.2 Milieu biophysique

2.2.1 Bilan climatique

La figure 2 présente le diagramme climatique de la région de la forêt classée des Monts Kouffé entre 1983 et 2012. Les données climatiques de la station de Savè ont été utilisées du faite qu'elle est la plus proche du secteur d'étude.



(PS : Périodes Sèches, PH : Périodes Humides, PFH : Période Franchement Humide)

Figure 2 : Diagramme climatique de la station de Savè (1983-2012)

Source : Station de Savè, 2015

De l'examen de la figure 2, la région des Monts Kouffé compte deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches et appartient au domaine soudano-guinéen. La pluviométrie moyenne est de 1200 mm. La saison pluvieuse s'étend de mi-avril à mi-octobre. Selon Franquin (1969), le diagramme climatique permet de diviser l'année en des périodes bioclimatiques successives correspondant à des périodes de développement végétatif. L'observation de la figure 2 permet de distinguer les périodes sèches (PS), humides (PH) et franchement humide (PFH).

- la période sèche ($P < \frac{1}{2} ETP$) s'étend de début novembre à fin mars. Durant cette période les pluies sont rares. Les herbacées existent sous forme de pailles si elles ne sont pas détruites par les feux de végétation.
- la période est dite humide lorsque $\frac{1}{2} ETP < P < ETP$. Elle s'étend de fin mars à fin mai et de mi-octobre à début novembre.

- lorsque $P > ETP$, la période est dite franchement humide. Ici elle s'étend de fin mai à mi-octobre. La végétation ne souffre d'aucune limite pour son alimentation hydrique et minérale. Cette période est la plus pluvieuse et le pic des précipitations est atteint dans le mois de septembre.

2.2.2 Températures

La température moyenne entre 1983 et 2012 est égale à $27,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec des minima de $21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en août et décembre et un maximum de $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en février (ASECNA, 2015). Les températures les plus basses enregistrées en décembre sont le fait de l'harmattan, un vent froid et sec qui souffle sur toute la région pendant cette période.

2.2.3 Pédologie

La figure 3 présente la carte pédologique de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.

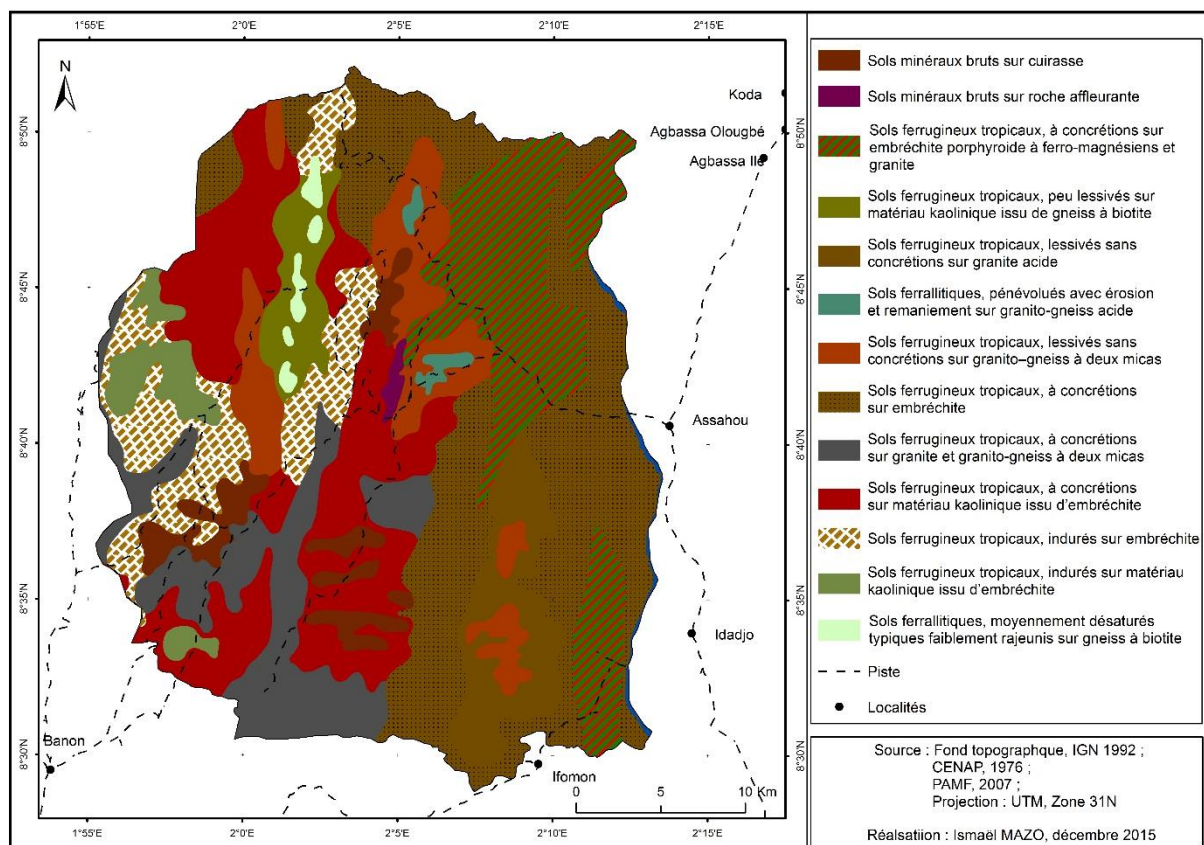


Figure 3 : Carte pédologique du secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé

L'examen de la figure 3 montre trois (3) principaux types de sols sont rencontrés dans le secteur d'étude. Ce sont les sols minéraux composés des sols minéraux bruts sur cuirasse et des sols

minéraux bruts sur roche affleurante. Les sols ferralitiques constituent les seconds types de sol rencontrés dans le secteur et les sols ferrugineux tropicaux qui occupent la majeure partie du secteur d'étude. Comme sols ferrugineux tropicaux rencontrés, on a les sols ferrugineux tropicaux à concrétion sur embréhite porphyroïde à ferro-magnésiens et granite, sols ferrugineux tropicaux peu lessivé sur matériaux koalinique issu du gneiss à biotite, les sols ferrugineux lessivés sans concrétions sur granito-gneiss à deux micas, les sols ferrugineux tropicaux, indurés sur embréchite.

2.2.4 Géomorphologie et hydrogéologie

2.2.4.1 Géomorphologie

Le paysage géomorphologique du secteur d'étude a été décrit par Dubroeuq (1977) et Faure (1977). Cette région repose en totalité sur une pénéplaine inclinée vers le sud et comporte trois entités distinctes ayant chacune un modelé particulier dont la pénéplaine haute qui couvre la majeure partie de la zone d'étude. L'altitude moyenne est voisine de 320 m. Le relief est composé de multiples collines à sommet arrondi et pentes convexes et d'amplitude variable.

2.2.4.2 Hydrogéologie

Le réseau hydrographique peu diversifié est constitué principalement du fleuve Ouémé. Les rivières qui existent ne résistent pas à la saison sèche. Les eaux coulant suivant une direction nord-sud, sont drainées par plusieurs petits marigots et rivières à écoulement temporaire (Toko Mohamadou, 2014). Sous ce réseau hydrographique, on retrouve trois types de formations géologiques. Il s'agit des migmatites qui occupent littéralement la partie ouest du secteur d'étude, des granites syntectoniques calco-alkalins et des gneiss à muscovites. La figure 4 présente la carte hydrogéologique de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.

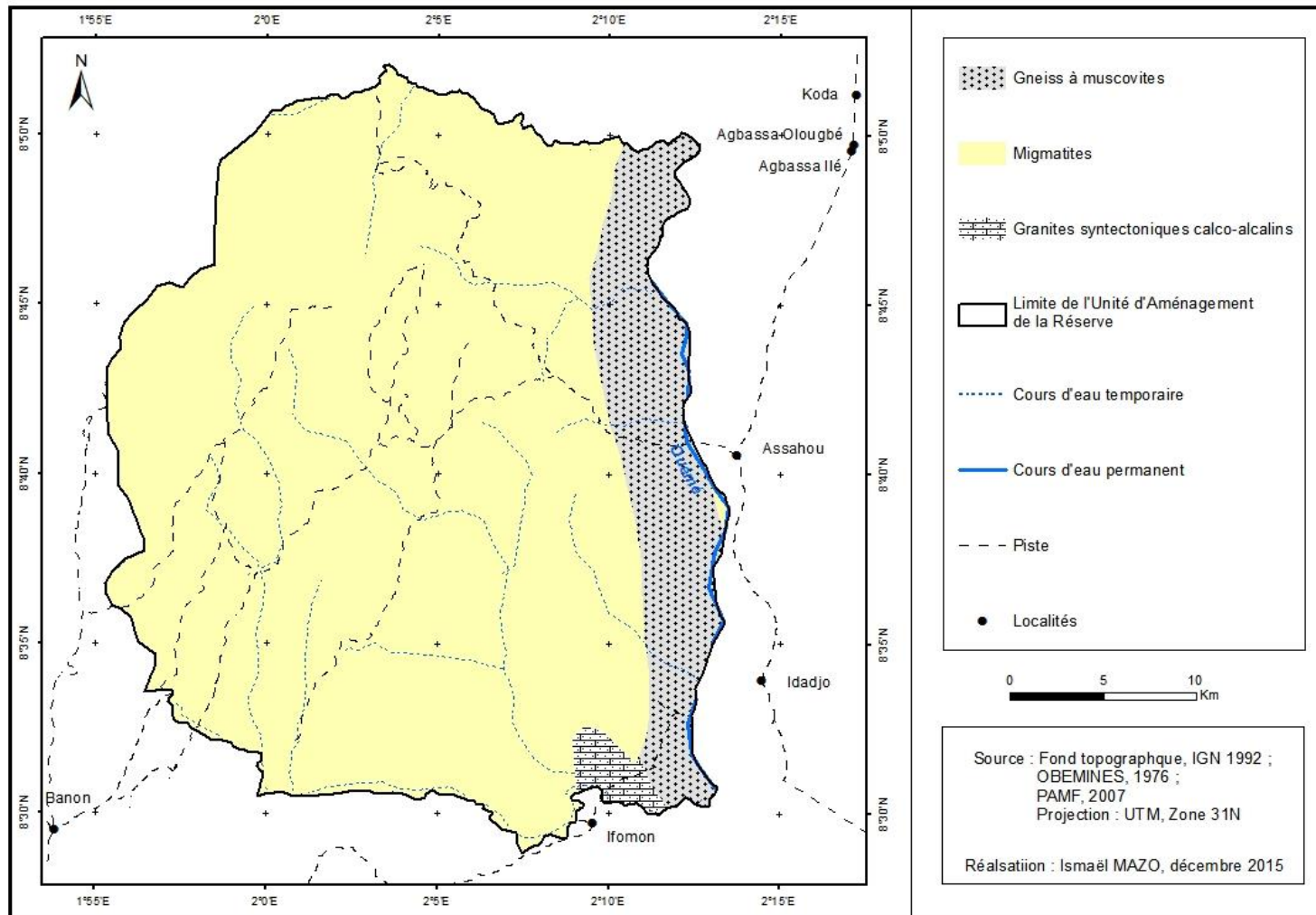


Figure 4 : Carte hydrogéologique de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé

2.2.5 Végétations

Plusieurs types de formations végétales sont rencontrés dans le secteur d'étude à savoir les formations forestières (galeries forestières, forêts denses sèches, et forêts claires) et les formations savaniques (savanes boisées, savanes arborées et savanes arbustives).

2.2.5.1 Forêts galeries

Les forêts galeries sont localisées le long des cours d'eau d'une certaine importance, formant des bandes étroites de forêts denses au milieu des forêts claires et des savanes. En plus de quelques essences typiques, la flore ligneuse comporte les mêmes espèces que celles des forêts denses sèches et/ou claires. Les espèces rencontrées sont *Anogeissus leiocarpa*, *Antidesma venosum*, *Berlinia grandiflora*, *Carapa procera*, *Daniellia oliveri*, *Dialium guineense*, *Khaya senegalensis*, *Kigelia africana*, *Milicia excelsa* (ex *Chlorophora excelsa*), *Mitragyna inermis*, *Monodora tenuifolia* et *Pandanus candelabrum*.

2.2.5.2 Forêts denses sèches

Le peuplement est très diversifié et fermé ; le recouvrement y est compris entre 60 % et 80 %. Les arbres de la strate dominante ont une hauteur de 15 à 20 mètres et perdent pour la plupart leurs feuilles en saison sèche. Le sous-bois y est formé d'arbustes sempervirents ou décidus et le tapis graminéen est généralement discontinu. La flore ligneuse comprend généralement *Anogeissus leiocarpa*, *Detarium microcarpum*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Isobertia tomentosa*, *Khaya senegalensis*, *Kigelia africana*, *Prosopis africana* et *Pteleopsis suberosa*.

2.2.5.3 Forêts claires

Ce sont des peuplements ouverts avec des arbres de petite à moyenne taille (10 à 15 mètres), dont les cimes sont plus ou moins jointives. L'ensemble du couvert laisse largement filtrer la lumière (45 à 60 % de recouvrement). Aussi, sont-ils pourvus d'un tapis graminéen couvrant plus ou moins partiellement le sol. Les essences sont très grégaires, ce qui distingue ces forêts des savanes arborées. Dans ce type de formation, on rencontre le plus souvent les mêmes espèces ligneuses que dans les forêts denses. Ce sont *Anogeissus leiocarpa*, *Detarium microcarpum*, *Diospyros mespiliformis*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Elaeis guineensis*, *Isobertia doka*, *Khaya senegalensis*, *Kigelia africana*, *Parkia biglobosa*, *Prosopis africana*, *Pteleopsis suberosa*, *Pterocarpus erinaceus*, *Tamarindus indica* et *Vitellaria paradoxa*.

2.2.5.4 Savanes arborées et savanes arbustives

Les savanes sont formées d'un tapis de plantes annuelles et parsemées plus ou moins densément d'arbres ou d'arbustes à port souvent tortueux.

Dans les savanes arborées, les arbres et arbustes y sont disséminés. La hauteur des arbres se situe entre 8 et 12 m pour une densité de couvert de 25 % à 40 %. Les essences ligneuses rencontrées sont *Anogeissus leiocarpa*, *Borassus aethiopum*, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Detarium microcarpum*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Diospyros mespiliformis*, *Faidherbia albida*, *Isobertinia doka*, *Khaya senegalensis*, *Lannea acida*, *Lannea microcarpa*, *Parkia biglobosa*, *Prosopis africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Sclerocarya birrea*, *Tamarindus indica*, *Terminalia macroptera* et *Vitellaria paradoxa*.

Par contre dans les savanes arbustives, les arbustes sont aussi disséminés mais leur hauteur se situe en dessous de 7 m pour un taux de recouvrement allant de 10 % à 25 %. Ce type de végétation est souvent subdivisé en type sahélien et type soudanien pour tenir compte de la taille des plantes, de leur recouvrement et des espèces végétales qui composent chaque type. Les essences ligneuses couramment rencontrées sont dominées par *Acacia dudgeoni*, *Acacia laeta*, *Acacia nilotica*, *Acacia senegal*, *Acacia seyal*, *Boscia senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Calotropis procera*, *Cassia sieberiana*, *Combretum micranthum*, *Crossopteryx febrifuga*, *Feretia apodanthera*, *Gardenia erubescens*, *Grewia bicolor*, *Guiera senegalensis*, *Piliostigma thonningii*, *Sclerocarya birrea*, *Terminalia avicennioides*, *Ximenia americana* et *Ziziphus mauritiana*.

2.3 Caractéristiques socioéconomiques

2.3.1 Evolution démographique

La figure 5 présente l'évolution démographique des localités limitrophes au secteur d'étude entre 1979 et 2013.

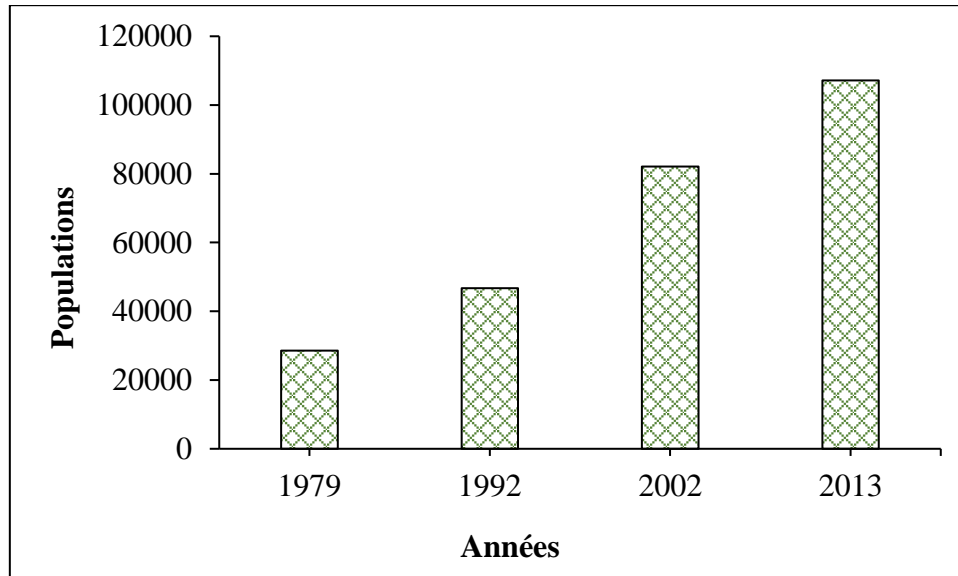


Figure 5 : Evolution démographique des localités limitrophes au secteur d'étude

La population des localités limitrophes au secteur d'étude est passée de 28598 habitants en 1979 à 107181 habitants en 2013 (INSAE, 2013) soit une augmentation de 73,31 %. Cette évolution démographique augmente les besoins liés aux activités socioéconomiques et les effets y afférents.

2.3.2 Agriculture

La principale activité des riverains du massif forestier est l'agriculture. Elle se fait de manière itinérante sur brûlis suivi de la destruction des arbres avec le feu. L'igname (*Dioscorea sp*) vient en tête de rotation suivie par les autres cultures comme le maïs (*Zea mays*), le manioc (*Manihot esculenta*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le niébé (*Vigna unguiculata*) et le piment (*Capsicum annum*).

2.3.3 Elevage

L'élevage constitue une activité non négligeable dans la forêt classée des Monts Kouffé. Il est pratiqué par quatre types d'éleveurs. Les agriculteurs qui sont tournés vers l'élevage du petit bétail, les agro éleveurs qui sont des peulhs sédentarisés depuis de longue date, les transhumants nationaux constitués de Peulhs venant périodiquement du nord du pays à la recherche de pâturage en saison sèche et les transhumants étrangers venant surtout des pays limitrophes notamment le Nigeria, le Niger, le Burkina-Faso et le Togo.

2.3.4 Exploitation forestière

L'exploitation forestière est illégalement pratiquée dans la forêt classée par des exploitants aussi bien autochtones qu'allochtones. Les principales espèces exploitées sont *Khaya senegalensis* (de plus en plus rare), *Azelia africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Ceiba pentandra*, *Anogeissus leiocarpa*, *Isoberlinia spp.*, *Burkea africana*, *Diopyros mespiliformis*, *Antiaris toxicaria*, *Holoptelea grandis*, *Pseudocedrela kotschy*. C'est une activité très destructrice de la forêt car pratiquée sur des bases non durables. En dépit des mesures de surveillance mises en place pendant l'exécution du projet PAMF, l'exploitation forestière n'a pas totalement disparu.

2.3.5 Chasse

La chasse est largement pratiquée dans la forêt par les chasseurs organisés en confréries villageoises. Les espèces animales abattues sont : buffle (*Syncerus caffer*), cobe de buffon (*Kobus kob*), ourébi (*Ourebia ourebi*), phacochère (*Phacochoerus aethiopicus*), céphalophe (*Sylvicapra grimmia*), guib harnaché (*Tragelaphus scriptus*), aulacode (*Thryonomys swinderianus*). Les outils et techniques utilisés sont principalement les fusils, les pièges et les feux de végétation (Oujoubéré, 2014). Ces feux de végétation contribuent à la dégradation et à la libération du carbone stocké dans les arbres à travers la calcination.

Suite à la présentation du secteur d'étude, pour l'atteinte des objectifs précédemment fixés, de matériel et méthodes ont été adopté, suivi et présenté dans le chapitre III.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

Le chapitre III fait état du matériel et des méthodes utilisés dans l'étude. Il se présente par objectif spécifique.

3.1 Cartographie du couvert forestier du secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé entre 2003 et 2013

3.1.1 Données planimétriques

- ✓ Carte topographique, au 1/200 000 ;
- ✓ Orthophotoplans de résolution 1 m x 1 m de 2003 ;
- ✓ Image Landsat 8 OLI/TIRS, même scène (P19 et R054) du 07 septembre 2013 téléchargée sur le site « *earthexplorer.usgs.gov* » au format GEOTIFF. Il s'agit des images ayant subi des corrections géométriques (géoréférencement, corrections des distorsions)

Ces données ont été traitées par les logiciels Idrisi Selva pour la classification des images, ArcGIS 10.3 pour la réalisation des cartes de végétation et autres unités d'occupation des terres de 2003 et de 2013. Le choix des deux dates découle du fait que les orthophotoplans de 2003 sont acquis par le Projet d'Aménagement des Massifs Forestiers (PAMF) et constitue donc une image de base dans cette étude. Quant à l'image Landsat 8 OLI/TIRS de 2013, dans le souci de respecter une période d'au moins 10 ans qu'elle a été utilisée et aussi elle paraît être l'image la plus claire (moins couvert de nuage) que celles disponible sur le site « *earthexplorer.usgs.gov* ».

3.1.2 Traitement des données planimétriques

3.1.2.1 Orthophotoplans

✓ Mission de reconnaissance

La mission de reconnaissance consiste à explorer le secteur d'étude afin d'identifier et de localiser les éléments majeurs du paysage tels que les types de reliefs, les sols, les formations végétales et les plans d'eau. Les coordonnées géographiques des unités d'occupation des terres sont enregistrées au GPS.

✓ Interprétation visuelle des orthophotoplans

Les orthophotoplans sont des photographies aériennes qui présentent les qualités métriques d'une carte. La clé d'interprétation est établie à partir des coordonnées géographiques prises au niveau des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres au cours de la mission de reconnaissance d'une part et le ton de gris, la texture, la structure et l'environnement des unités visibles sur les orthophotoplans à l'échelle de 1/10.000 d'autre part. Avant l'interprétation, 10 classes sont déterminées à partir de la variation de la texture et de la structure

des orthophotoplans. A partir de la clé d'interprétation, les différentes classes de végétation et les autres unités d'occupation des terres sont identifiées et digitalisées à l'aide du logiciel ArcGIS 10.3.

La délimitation et l'interprétation de image est réalisée à l'aide des techniques de pointe dans le domaine. En effet, le logiciel Idrisi est mis à profit pour produire, de façon automatique, une couche préliminaire de types d'occupation du sol. Une fois la segmentation terminée, on a attribué un code d'occupation aux différents polygones répartis sur l'ensemble de l'image. Les caractéristiques de ces polygones sont ensuite analysées mathématiquement par le logiciel Idrisi, ce qui a permis de classer automatiquement tous les autres polygones selon la clé d'interprétation. L'extraction de l'occupation est faite par la classification supervisée basés sur la segmentation. Une fois les zones d'intérêt saisi, la classification est lancée en utilisant l'algorithme maximum de vraisemblance qui constitue l'algorithme le plus approprié en matière d'occupation des terres.

La couche numérique préliminaire d'occupation des terres (i.e. polygones et codes d'identification) est ensuite transférée dans un programme de cartographie numérique, à savoir ArcGIS 10.3, afin de compléter la structuration de la base de données et ajouter le libellé complet du type d'occupation des terres.

3.1.2.2 Image Landsat 8 OLI/TIRS de 2013

✓ Composition colorée

La composition colorée permet de produire des images en couleurs en tenant compte de la signature spectrale des objets. Elle sert avant tout à distinguer les différents objets présents dans les images et ainsi faciliter l'interprétation des images. Les bandes 5, 4, 3 de Landsat 8 ont été utilisées pour la composition colorée.

✓ Sélection d'échantillons représentatifs

Pour chaque type d'occupation des terres, on a identifié sur l'image, des zones représentatives appelées aires d'entraînement. Les aires d'entraînement sont des sites représentatifs des caractéristiques numériques des classes qui permettent de définir les signatures spectrales de chaque formation végétale. Les aires d'entraînement ont été délimitées loin des zones de transition afin d'éviter d'inclure des pixels mixtes, c'est-à-dire des pixels qui pourraient être classés dans deux classes distinctes. Le nombre d'aires d'entraînement a été d'autant plus grand que la classe est hétérogène. La taille de l'aire d'entraînement doit être supérieure à l'erreur de localisation et inférieure à l'objet à détecter (Kioko et Okello, 2010). Elle peut être estimée de la façon suivante :

$$A = P(1 + 2L)$$

avec A = la superficie de l'aire d'entraînement ; P = Dimension du pixel en mètre ; L = Précision de la localisation en mètre.

✓ **Classification par la méthode maximum de vraisemblance**

La technique de classification a pour objectif de réduire la quantité d'informations contenues dans les images satellitales pour définir des sous-ensembles homogènes en regroupant plusieurs pixels appelés groupes thématiques (ou classes). Dans la présente étude, nous avons soumis les deux images retenues à la méthode de classification supervisée. Cette dernière permet de regrouper automatiquement des objets semblables à des objets de référence identifiés sur le terrain. Tous les pixels de l'image sont classés selon l'algorithme de classification choisi.

✓ **Choix de l'algorithme de classification**

L'algorithme de classification choisi dans cette étude est basé sur le maximum de vraisemblance. Cet algorithme de classification calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle qui permet de déterminer la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondant aux signatures spectrales (Collet, 1992).

✓ **Exportation des données rasters vers un Système d'Information Géographique**

Après la classification, chaque image interprétée a été exportée vers un Système d'Information Géographique. Il s'est agi de convertir le fichier du format raster en format vecteur. Cela a été fait avec le logiciel ArcGIS 10.3. Dans ce système d'information géographique, les superficies des différentes unités d'occupation des terres qui ont subies de transformation ont été calculées à partir du croisement des cartes obtenues après interprétation des images de 2003 et de 2013 à l'aide de la fonction *Intersect* de la boîte à outils Arc toolbox du logiciel ArcGIS 10.3. Ce qui a permis d'établir la matrice de transition entre ces deux dates.

✓ **Matrice de transition**

La matrice de transition est un tableau permettant de décrire de manière condensée, sous forme de matrice carrée les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée. Cette matrice ne contient aucune information sur la distribution spatiale des changements, ni sur les processus et causes ayant conduit aux changements mais informe sur la proportion d'affectation d'un type *i* d'utilisation des terres à un état *j* réalisés pendant la période concernée. Elle est constituée de X lignes et de Y colonnes. Le nombre de lignes de la matrice indique le nombre de formations végétales et autres unités d'occupation des terres au temps t_0 ; le nombre Y de colonnes de la matrice est le nombre de classes converties au temps t_1 et la

diagonale contient les superficies des formations végétales restées inchangées. Les transformations se font donc des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes unités ont été calculées à partir du croisement des cartes deux de dates à l'aide de la fonction *Intersect* du logiciel ArcGIS 10.3.

3.1.2.3 Détection des changements au niveau des formations végétales et les unités d'occupation des terres entre 2003 et 2013

✓ Taux moyen annuel d'expansion spatiale

Le taux moyen annuel d'expansion spatiale exprime la proportion de chaque unité de végétation naturelle qui change annuellement (Bernier, 1992 ; Oloukoï *et al.*, 2006 ; Arouna, 2012 ; Toko, 2014). Ce taux annuel (T_a) est calculé à partir de la formule suivante :

$$T_a = \frac{\ln(S_2) - \ln(S_1)}{(t_2 - t_1) \times \ln(e)} \times 100$$

Avec S_1 la superficie d'une unité de végétation à la date t_1 , S_2 la superficie de la même unité de végétation à la date t_2 et $(t_2 - t_1)$ la différence d'années entre t_1 et t_2 .

✓ Taux de conversion

Le taux de conversion d'une classe d'unité d'occupation des terres correspond au degré de transformation subie par cette classe en se convertissant vers d'autres classes. C'est donc la quantité de changements observés au niveau d'une unité d'occupation des terres entre 2003 et 2013. Il permettra ainsi de mesurer le degré de conversion d'une unité donnée en d'autres unités d'occupation des terres. Il s'obtient à partir de la matrice de transition suivant la formule :

$$T_c = \frac{S_{it} - S_{is}}{S_{it}} \times 100$$

S_{it} : Superficie de l'unité d'occupation i à la date initiale t ; S_{is} : Superficie de la même unité demeurée stable à la date t_1 .

✓ Analyse des intensités et vitesses des changements entre 2003 et 2013

Deux programmes d'analyses ("PontiusMatrix22" et "Intensity Analysis02.xlms") de Aldwaik et Pontius (2012), ont permis de mesurer (en %) les intensités des changements selon les intervalles de temps, les catégories, et les transitions entre catégories d'occupation des terres. Le premier programme s'est basé sur les matrices de transition de 2003-2013 pour générer des graphiques montrant lesdites intensités.

Le second programme grâce à la matrice de transition a aussi permis de générer des statistiques pour les changements selon les intervalles de temps, entre chaque catégorie d'occupation des

terres et les autres unités d'occupation des terres. Il en est de même pour les pertes et gains survenus lors des transitions entre unités.

3.2 Estimation de la biomasse aérienne ligneuse de l'Unité d'Aménagement de la Reserve de la forêt classée des Monts Kouffé

3.2.1 Matériel de collecte des données

Pour atteindre cet objectif, plusieurs outils ont été utilisés. Il s'agit de :

- un GPS pour le ralliement des placeaux antérieurement installés par le projet PAMF ;
- un pentadécamètre pour le dimensionnement des placeaux ;
- un ruban π pour la mesure du diamètre des arbres ;
- piquets en bois de 2 m pour matérialiser les limites du placeau ;
- un sécateur pour récolter les spécimens des espèces ;
- papiers journaux pour la réalisation de l'herbier ;
- clisimètre pour la mesure des hauteurs des arbres.

3.2.2 Matériel d'étude

Le matériel d'étude est le support sur lequel l'étude va se réaliser. Dans le cadre de cette recherche, les formations végétales constituent le support matériel d'étude.

3.2.3 Méthode de collecte des données

3.2.3.1 Choix et dimensionnement des placeaux

Le placeau de forme circulaire de 15 m de rayon a été choisi. Son implantation est facile et rapide et grâce à sa forme géométrique, il réduit les cas de mesures des arbres de bordures. Au total, 70 placeaux ont été installés selon la méthode sigmatiste de Braun-Blanquet basée sur le principe d'homogénéité floristique et topographique. Ces placeaux sont raliés de façon aléatoire dans différentes types de végétation entre les mois de novembre et de décembre 2014 sur l'ensemble du secteur d'étude. Le tableau I présente le nombre de placeau installé par type de formation végétale.

Tableau I : Nombre de placeau installé par catégorie de formation végétale

Formations végétales	Nombres de placeaux
Forêts galeries	10
Forêts denses sèches	20
Forêts claires et savanes boisées	10
Savanes arborées et arbustives	30
Total	70

Source : Travaux de terrain, novembre à décembre 2014

La figure 6 présente la répartition spatiale des placeaux au sein des formations végétales du secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.

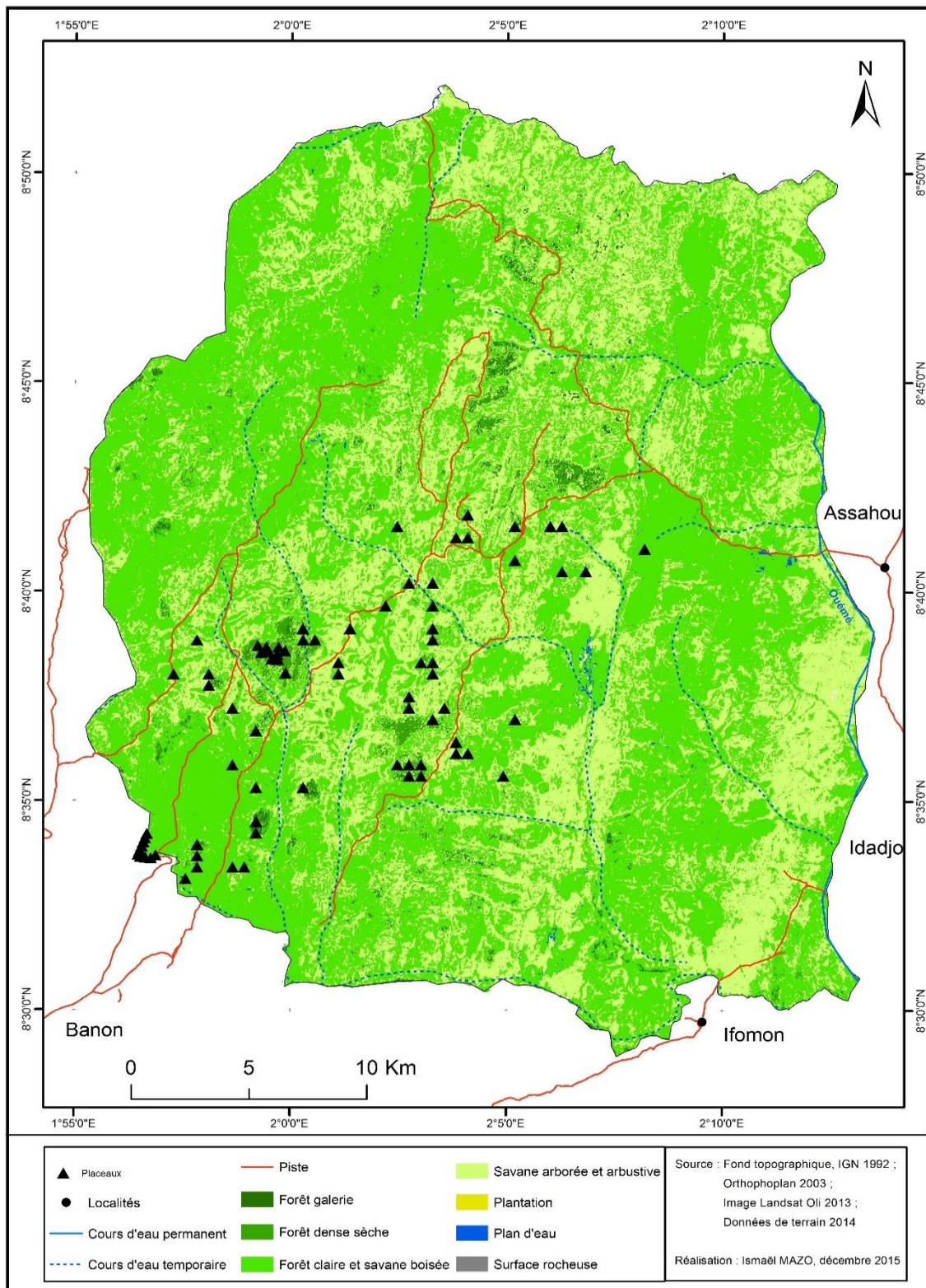


Figure 6 : Répartition spatiale des placeaux au sein des formations végétales de l'Unité d'Aménagement de la Réserve

3.2.3.2 Collecte des données dendrométriques

Les données dendrométriques ont été mesurées à l'intérieur des placeaux de 15 m de rayon. Elles concernent le nombre d'individus de chaque espèce, la mesure des diamètres des ligneux de diamètre $d \geq 10$ cm et la hauteur des arbres de la strate arborescente. Les ligneux de diamètre $d \geq 10$ cm sont mesurés à 1,30 m au-dessus du sol.

3.2.4 Méthode de traitement des données

3.2.4.1 Méthode d'estimation de la biomasse

De nombreuses techniques existent à l'heure actuelle pour estimer la biomasse ligneuse aérienne des forêts à différentes échelles : moyenne par biome, inventaires forestiers, capteurs optiques, capteurs optiques à très haute résolution aéroportés, capteurs radars et capteurs lasers (Gibbs *et al.*, 2007). Toutes ces techniques s'appuient sur des échantillons destructifs pour calibrer des équations allométriques. Ces équations sont utilisées pour estimer la biomasse d'un arbre à partir de variables facilement mesurables comme le diamètre de référence, l'infra-densité du bois, la hauteur totale et le type de forêt (Chave *et al.*, 2005 ; Brown, 1997).

Ainsi, Mbow (2009), Chave *et al.* (2005), Brown (1997) proposent une série de modèles allométriques de type pantropical (Valables pour toutes les forêts de la zone tropicale). Ces différents types de modèles sont présentés dans le tableau II.

Tableau II : Récapitulatif de quelques modèles de prédiction de la biomasse selon des auteurs

Types de formation végétale	Modèles proposés par	Restrictions	RSE	AIC	R ²
Mbow, 2009					
Savanes soudaniennes et soudano-guinéennes	AGB = 49,84-(10,34*D) + (0,89*D ²)	P < 1.500 mm	-	-	0,93
	AGB = - 58,18 + (13,61*D) - 0,517*D ² + (0,0225*D ³)		-	-	0,936
Chave et al., 2005					
Forêts tropicales sèches (Dry)	ln(AGB) = -2,680+1,805 ln(D) + 1,038 ln(H) + 0,377 ln(ρ)	5 < D < 156 cm ; P < 1.500 mm	0,302	818	0,996
	ln((AGB) = -2,235 + 0,916 ln(D ² *H*ρ)		0,311	913	0,996
	ln((AGB) = -2,843 + ln(D ² *H*ρ)		0,316	972	0,989
Forêts tropicales humides semi-sempervirentes (Moist)	ln(AGB) = -2,994 + 2,135 ln(D) + 0,824 ln(H) + 0,809*ln(ρ)	5 < D < 156 cm ; 1.500 mm ≤ P ≤ 4.000 mm	0,302	818	0,996
	ln(AGB) = -3,080 + 1,007*ln(D ² *H*ρ)		0,311	913	0,996
	ln(AGB) = -3,027 + ln(D ² *H*ρ)		0,316	972	0,989
Forêts tropicales humides sempervirentes (Wet)	ln(AGB) = -2,408+2,0440*ln(D) + 0,659*ln(H) + 0,746*ln(ρ)	5 < D < 156 cm ; P > 4.000 mm	0,302	818	0,996
	ln((AGB) = -2,605 + 0,940*ln(D ² *H*ρ)		0,311	913	0,996
	ln((AGB) = -3,024 + ln(D ² *H*ρ)		0,316	972	0,989
All types	ln(AGB) = -2,801 + 2,115*ln(D) + 0,7780*ln(H) + 0,809*ln(ρ)	-	0,316	9771	0,969
	ln((AGB) = -2,922 +0,990*ln(D ² *H*ρ)	-	0,323	105	0,967
	ln((AGB) = -2,994 + ln(D ² *H*ρ)	-	0,324	1053	-
FAO (Brown, 1997)					
Forêts denses sèches	AGB = 42,69 - (12,8*D)+(1,242*D ²)	5 < D < 148 ; P > 900 mm	-		0,84

RSE : Erreur Standard Résiduelle ; AIC : Critère d'Information d'Akaike ; R² : Coefficient de Détermination Ajusté

3.2.4.2 Choix du modèle

Dans le cadre de la présente étude, les modèles d'estimation de la biomasse ont été choisis en fonction de la nature des formations végétales rencontrées dans le secteur d'étude. Concernant la sélection du meilleur modèle prédictif, l'erreur standard résiduelle (RSE), le critère d'information d'Akaike (AIC) et/ou le coefficient de détermination ajusté (R^2) ont été considérés. Selon Chave *et al.* (2005), plus l'erreur standard résiduelle (RSE) et le critère d'information d'Akaike (AIC) sont faibles et meilleur est le modèle prédictif.

De ce qui précède, l'équation allométrique conçue par Chave *et al.* (2005) pour les forêts tropicales sèches a été utilisée pour l'estimation la biomasse ligneuse des forêts denses sèches, des forêts galeries et des forêts claires et savanes boisées tandis que l'équation allométrique de Mbow (2009) développée dans les savanes soudaniennes et soudano-guinéennes a été utilisée pour l'estimation de la biomasse des savanes arborées et arbustives. Aussi, les équations allométriques de Chave *et al.* (2005) et de Brown (1997) conçues pour toutes les formations végétales tropicales sèches ont été également choisies et utilisées dans tous les types de formation végétale dans le but de comparer les valeurs avec celles utilisées spécifiquement.

Ces équations s'avèrent très utiles dans le cas d'estimations à grande échelle ou de comparaisons entre régions. Plusieurs études en font d'ailleurs l'usage (Alves *et al.*, 2010 ; Djuikouo *et al.*, 2010 ; Fox *et al.*, 2010 ; Lewis *et al.*, 2009 ; Slik *et al.*, 2008). Le tableau III présente la synthèse des modèles utilisés pour le calcul de la biomasse dans le présent travail.

Tableau III : Synthèse des modèles utilisés dans le calcul de la biomasse

Auteurs		Modèles allométriques
Mbow, 2009		$AGB = -58,18 + (13,61*D) - (0,517*D^2) + (0,0225*D^3)$
Chave <i>et al.</i> (2005)	Dry	$\ln(AGB) = -2,680 + 1,805*\ln(D) + 1,038*\ln(H) + 0,377*\ln(\rho)$
	All types	$\ln(AGB) = -2,922 + 0,990*\ln(D^2*H*\rho)$
Brown (1997)		$AGB = 42,69 - (12,8*D) + (1,242*D^2)$

Source : Recherche documentaire, 2015-2016

Les valeurs de la densité spécifique (ρ) pour la majorité des espèces ligneuses du secteur n'étant pas disponibles, la valeur par défaut recommandée par Reyes *et al.* (1992), utilisée par Vroh *et al.* (2014) a été choisie. Cette valeur est de $\rho_{\text{défaut}} = 0,58 \text{ g/cm}^3$.

3.2.4.3 Analyse statistique des résultats des modèles

Afin de comparer les valeurs moyennes de la biomasse prédite par les différents modèles choisis et de carbone, une analyse de variance à un critère a été faite dans le logiciel SPSS 21. Ensuite, une structuration de ces moyennes a été opérée à partir du test de Student-Newman-Keuls pour la biomasse prédite entre les modèles et le test de Scheffe pour la structuration du stock de carbone des classes de diamètres au seuil de 5 %.

3.3 Evaluation du stock de carbone séquestré par les formations végétales de l'Unité d'Aménagement de la Reserve dans la forêt classée des Monts Kouffé

L'évaluation du stock de carbone repose sur les recommandations du Panel intergouvernemental sur les changements climatiques (IPCC, 2003) adopté par plusieurs auteurs dont Vroh *et al.* (2014), Brown (1997), Cairns *et al.* (2003), Chave *et al.* (2005) ; Gibbs *et al.* (2007), Lewis *et al.* (2009) et qui précisent que le taux de carbone séquestré est estimé à 50 % de la biomasse. La quantité de carbone séquestrée est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Carbone} = 0,5 * \text{AGB} \text{ avec AGB la quantité de biomasse}$$

Pour des mesures de conservations et pour une meilleure gestion de la forêt, le modèle qui prédit les plus faibles quantités de biomasse est retenu pour l'estimation du stock de carbone (IPCC, 2003).

L'application de cette démarche méthodologique a permis d'aboutir aux résultats qui sont présentés dans le chapitre IV.

CHAPITRE IV : RESULTATS

4.1 Cartographie du couvert forestier de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé entre 2003 et 2013

La figure 7 présente la carte d'occupation des terres de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé entre 2003 et 2013.

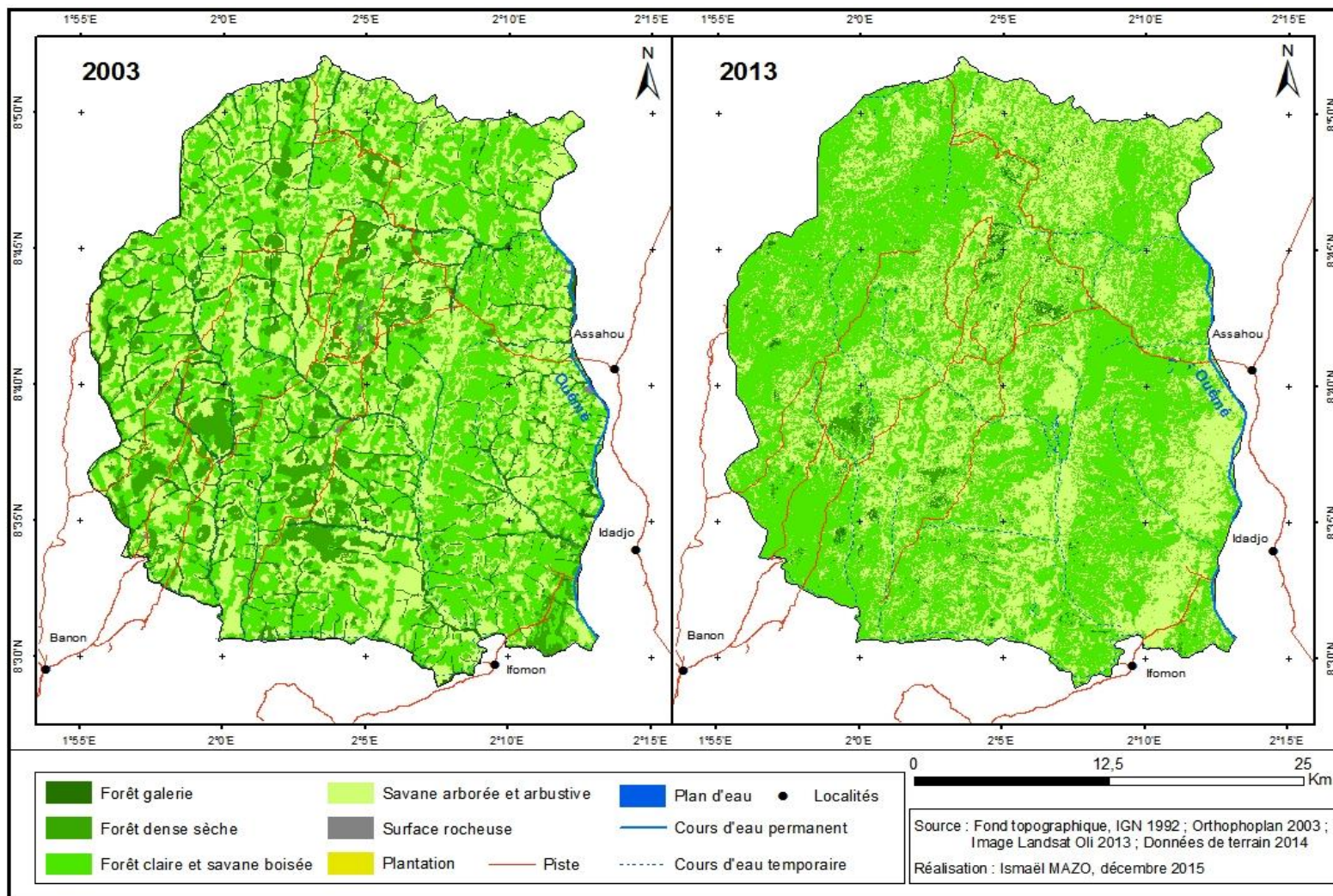


Figure 7 : Carte d'occupation des terres de l'Unité d'Aménagement de la Reserve de la forêt classée des Monts Kouffé

La dynamique des unités d'occupation des terres de 2003 à 2013 dans la FCMK est synthétisée par la matrice de transition du tableau IV.

Tableau IV : Matrice de transition des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres entre 2003 et 2013 dans la FCMK

UOT_2003	UOT_2013							Sup_2003_ha
	FG	FDS	FCSB	SaSA	PL	PE	SR	
GF	2432,7	0,0	0,0	0,0	5688,7	0,0	0,0	8121,4
FDS	0,0	1820,9	5789,9	2443,6	0,0	0,0	0,0	10054,4
FCSB	0,0	67,1	29631,4	17686,9	0,0	0,0	0,0	47385,4
SaSA	0,0	0,0	23058,5	17006,9	0,0	0,0	0,0	40065,4
PE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,1	0,0	37,1
SR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	315,7	315,7
Sup_2013_ha	2432,7	1887,9	58479,8	37137,3	5688,7	37,1	315,7	105979,3

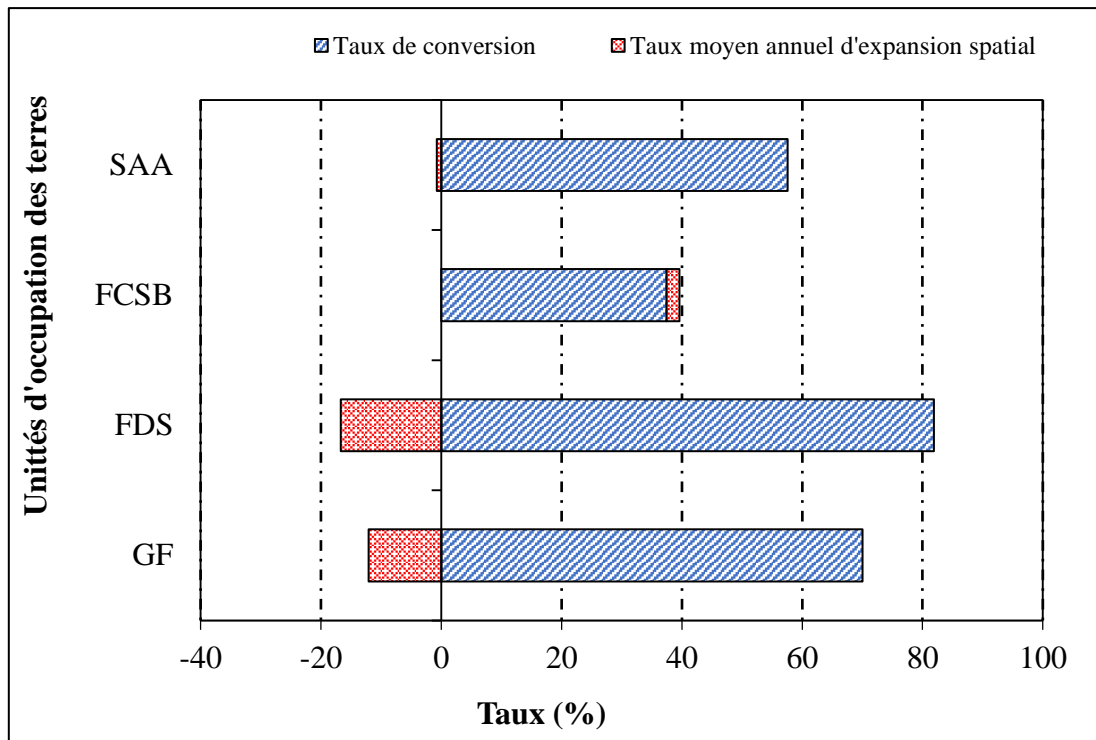
Légende

FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèche ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SaSA : Savanes arborée et arbustive ; SR : Surface rocheuse ; PE : Plan d'eau ; PL : Plantation ; Sup. 2003 : Superficie des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres en 2003 ; Sup_2013_ha : Superficie des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres de 2013 en ha ; 2432,7: Superficie des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres restée stable ; UOT_2013 : Unités d'Occupation des Terres de 2013.

Il ressort de l'examen du tableau IV que toutes les formations végétales naturelles ont régressées à l'exception des forêts claires et savanes boisées. En effet, les forêts galeries qui occupaient une superficie de 8121,4 ha en 2003 sont passées à 2432,7 ha en 2013 au profit de 5688,7 ha de plantation. Aussi, 5789,9 ha des forêts denses sèches se sont converties en forêts claires et savanes boisées ; 2443,6 ha en savanes arborées et arbustives et 1820,9 ha sont restés stables. La superficie des forêts claires savanes boisées restée stable est de 29631,4 ha sur une superficie de 47385,4 ha en 2003. 67,1 ha s'est convertie en forêts denses sèches et 17686,9 ha en savanes arborées et arbustives. Quant aux savanes arborées et arbustives sur une superficie de 40065,4 ha ; 17006,9 ha sont restés stables et 23058,5 ha se sont converties en forêts claires et savanes boisées.

4.1.1 Taux moyen annuel d'expansion spatiale et taux de conversion des unités d'occupation des terres dans l'unité d'aménagement de la réserve de la Forêt classée des Monts Kouffé de 2003 à 2013

Les variations des taux de conversion et des taux moyen annuel d'expansion sont présentées par la figure 8.



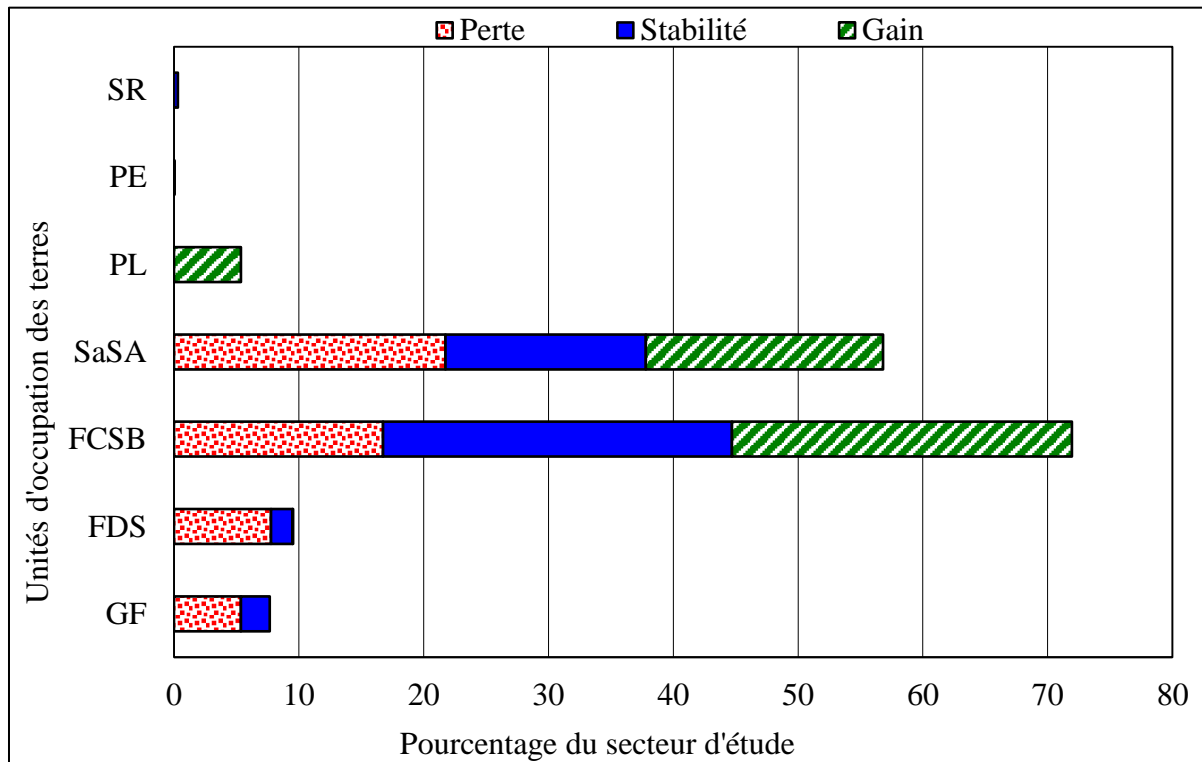
FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèche ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SAA : Savanes arborée et arbustive

Figure 8 : Taux de conversion et taux moyen annuel d'expansion spatiale de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé

L'examen de la figure 8 montre que les forêts denses sèches sont les unités qui ont connues le plus fort taux de conversion et d'expansion spatiale avec respectivement 81,89 % et - 16,73 %. Elles sont suivies des forêts galeries avec un taux de conversion de 70,05 % et un taux moyen annuel d'expansion spatiale de - 12,06 %. Les savanes arborées et arbustives ont quant à eux subies une conversion de 57,55 % de leur superficie en forêts claires et savanes boisées avec un taux moyen annuel d'expansion spatiale de - 0,76 %. La conversion des forêts claires et les savanes boisées est de 37,47 % en savane arborée et arbustive avec un taux moyen annuel d'expansion spatiale de 2,1 %.

4.1.2 Intensité des changements par catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013

La figure 9 présente l'intensité de changement par catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013 dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve dans la forêt classée des Monts Kouffé.



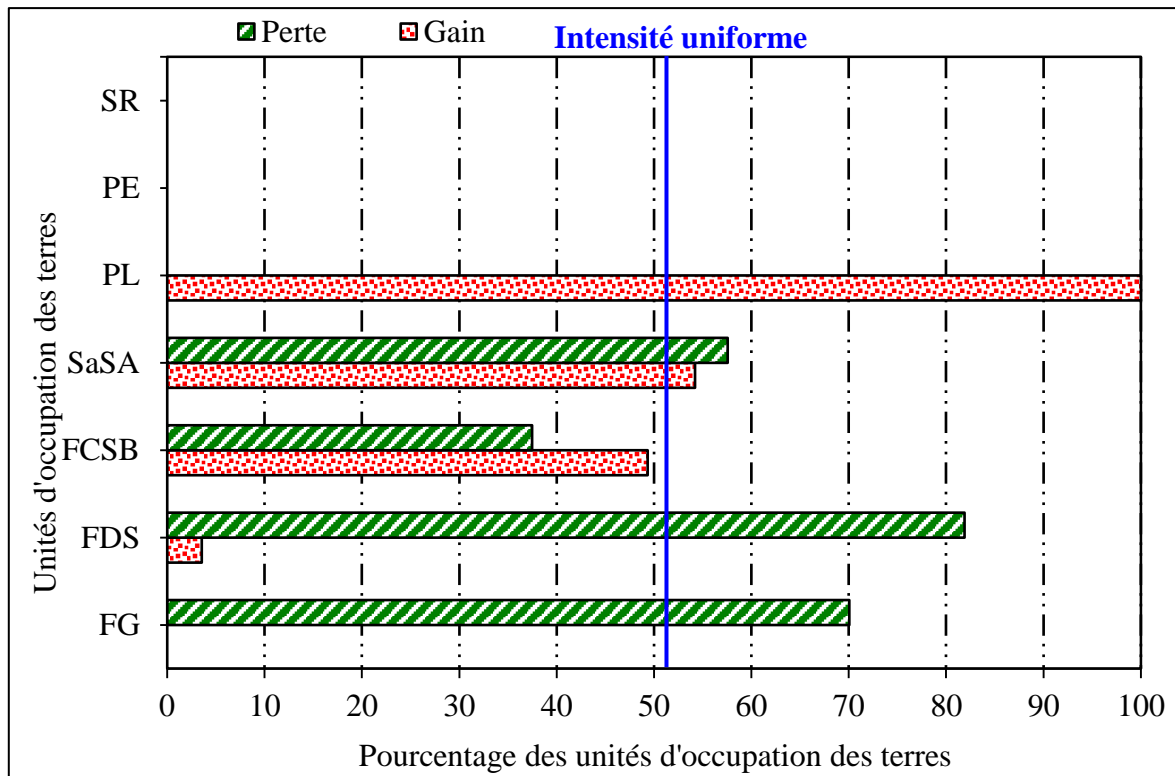
FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèche ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SaSA : Savanes arborée et arbustive ; SR : Surface rocheuse ; PE : Plan d'eau ; PL : Plantation

Figure 9 : Intensité des changements par catégories d'occupation des terres entre 2003 et 2013

L'analyse de la figure 9 montre que les changements se sont opérés entre les catégories d'occupation des terres dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve. Dans chaque catégorie, des pertes, de stabilités et des gains ont été observées dans des proportions différentes au niveau du secteur d'étude. Ainsi, les savanes arborées et arbustives sont les unités d'occupation des terres qui ont connues la plus grande superficie de perte (22 %), suivies des forêts claires et savanes boisées avec 17 % de perte et les forêts denses sèches avec 8 %. Les forêts claires et savanes boisées ont enregistré le plus grand pourcentage de gains avec 27 % des superficies suivies des savanes arborées et arbustives avec 19 % des superficies. Lors des changements d'état entre les différentes catégories d'occupations des terres, les forêts claires et savanes boisées sont les catégories qui ont connues plus de stabilités avec 28 % des superficies de toute la forêt classée. Viennent, ensuite les savanes arborées et arbustives avec 16 % et enfin, les forêts galeries qui ont connu des changements minables avec 5 % de perte et 2 % de stabilité.

4.1.3 Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013

La figure 10 présente l'intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013 dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve dans la forêt classée des Monts Kouffé.



FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèche ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SaSA : Savanes arborée et arbustive ; SR : Surface rocheuse ; PE : Plan d'eau ; PL : Plantation

Figure 10 : Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres dans le secteur d'étude entre 2003 et 2013

L'analyse de la figure 10 montre qu'à l'exception des plans d'eau et des surfaces rocheuses, les autres catégories d'occupation des terres ont connus de gains (augmentation des superficies) et de pertes (diminution des superficies) par rapport à la superficie du secteur d'étude. La ligne verticale bleue de valeurs 51,8 % est la limite où les changements resteraient uniformes si les perturbations s'arrêtaient dans le secteur d'étude. A gauche de cette ligne, les changements sont dits dormants ou lents. Tandis qu'à sa droite, les changements sont qualifiés d'actifs ou rapides. Ceci étant, les gains opérés au niveau des forêts galeries (0,2 %), des forêts denses sèches (4 %) et des forêts claires et des savanes boisées (49 %) sont lents tandis qu'au niveau des savanes arborées et arbustives et les plantations, les gains sont tous rapides avec respectivement 58 % et 100 %.

En ce qui concerne les pertes, elles sont rapides au niveau des forêts galeries (70 %), des forêts denses sèches (82 %) et les savanes arborées et arbustives (58 %). Les forêts claires et les savanes boisées (37 %) ont connu de lentes pertes. Les plans d'eau et les surfaces rocheuses n'ont connu ni de gains ni de pertes dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.

4.2 Estimation de la variation de la biomasse aérienne ligneuse

4.2.1 Quantification de la biomasse aérienne ligneuse dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classé des Monts Kouffé

Le tableau V présente la biomasse en fonction des modèles par type de formation végétale.

Tableau V : Biomasse dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classé des Monts Kouffé

Type de formation végétale	Mbow (2009)	Chave <i>et al.</i> (2005)		Brown (1997)
		Dry	All type	
Biomasse (Kg.MS/arbre)				
Forêt galerie	-	606,18	598,26	999,88
Forêt dense sèche	-	323,45	311,42	541,40
Forêt claire	-	260,90	237,05	459,93
SaSA	217,40	-	142,85	274,06
Biomasse (tonnes.MS/ha)				
Forêt galerie	-	298,96	295,05	493,12
Forêt dense sèche	-	132,98	128,03	222,57
Forêt claire	-	67,55	61,37	119,08
SaSA	71,67	-	47,45	91,02
Biomasse totale (tonnes.MS)				
Forêt galerie	-	726495,94	716996,71	1198332,84
Forêt dense sèche	-	250640,82	241317,57	419522,81
Forêt claire	-	3947488,80	3586676,11	6958966,69
SaSA	2655582,06	-	1758160,58	3372555,87

(Savanes : Savanes Soudanienne et Soudano-Guinéenne, FDS : Forêts Denses Sèches, All types : Toutes les formations végétales tropicales sèches)

De l'observation du tableau V, il ressort que la biomasse dans les formations végétales varie selon les modèles. Dans les forêts galeries, le modèle « Dry » estime la biomasse totale à 726495,94 tonnes.MS. Ce modèle prédit une biomasse de 298,96 tonnes.MS/ha avec en moyenne 606,18 Kg.MS/arbre. Par contre, le modèle « All type » prédit la biomasse totale à 716996,71 tonnes.MS avec 295,05 tonnes/ha et 598,26 Kg.MS/arbre. Avec le modèle de Brown, la biomasse

totale est de 1198332,84 tonnes.MS. La biomasse à l'hectare est de 493,12 tonnes.MS et par arbre est de 999,88 Kg.MS.

Au sein des forêts denses sèches, avec le modèle « Dry », la biomasse totale est de 250640,82 tonnes.MS. A l'hectare, ce modèle prédit une biomasse de 132,98 tonnes.MS avec en moyenne 323,45 Kg.MS/arbre. Par contre, le modèle « All type » prédit la biomasse totale à 241317,57 tonnes.MS avec 128,03 tonnes/ha et 311,42 Kg.MS/arbre. Avec le modèle de Brown, la biomasse totale est de 419522,81 tonnes.MS, 222,57 tonnes.MS/ha et 541,4 Kg.MS/arbre.

Dans les forêts claires et savanes boisées, le modèle « Dry » estime la biomasse totale à 3947488,80 tonnes.MS. Ce modèle prédit une biomasse de 67,55 tonnes.MS/ha avec en moyenne 260,9 Kg.MS/arbre. Par contre, le modèle « All type » prédit la biomasse totale à 3586676,11 tonnes.MS avec 61,37 tonnes/ha et 237,05 Kg.MS/arbre. Avec le modèle de Brown, la biomasse totale est de 6958966,69 tonnes.MS ; 119,08 tonnes.MS/ha et 459,93 Kg.MS/arbre.

Enfin dans les savanes arborées et arbustives, avec le modèle de Mbow, la biomasse totale est de 2655582,06 tonnes.MS. A l'hectare, ce modèle prédit une biomasse de 71,67 tonnes.MS avec en moyenne 217,4 Kg.MS/arbre. Par contre, le modèle « All type » prédit la biomasse totale à 1758160,58 tonnes.MS avec 47,45 tonnes/ha et 142,85 Kg.MS/arbre. Avec le modèle de Brown, la biomasse totale est de 3372555,87 tonnes.MS, 91,02 tonnes.MS/ha et 274,06 Kg.MS/arbre.

En somme, quelque soit le modèle utilisé et le type de formation végétale considéré, les valeurs de la biomasse restent élevées avec le modèle de Brown et les plus faible valeurs sont obtenus avec le modèle « All type ».

4.2.3 Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les formations végétales selon les modèles de Chave *et al.* (2005) et de Brown (1997)

4.2.3.1 Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts galeries

Le premier quartile (Q1), la médiane (Q2) et le troisième quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de biomasse par arbre dans les forêts galeries selon chaque modèle. La figure 12 présente la variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts galeries.

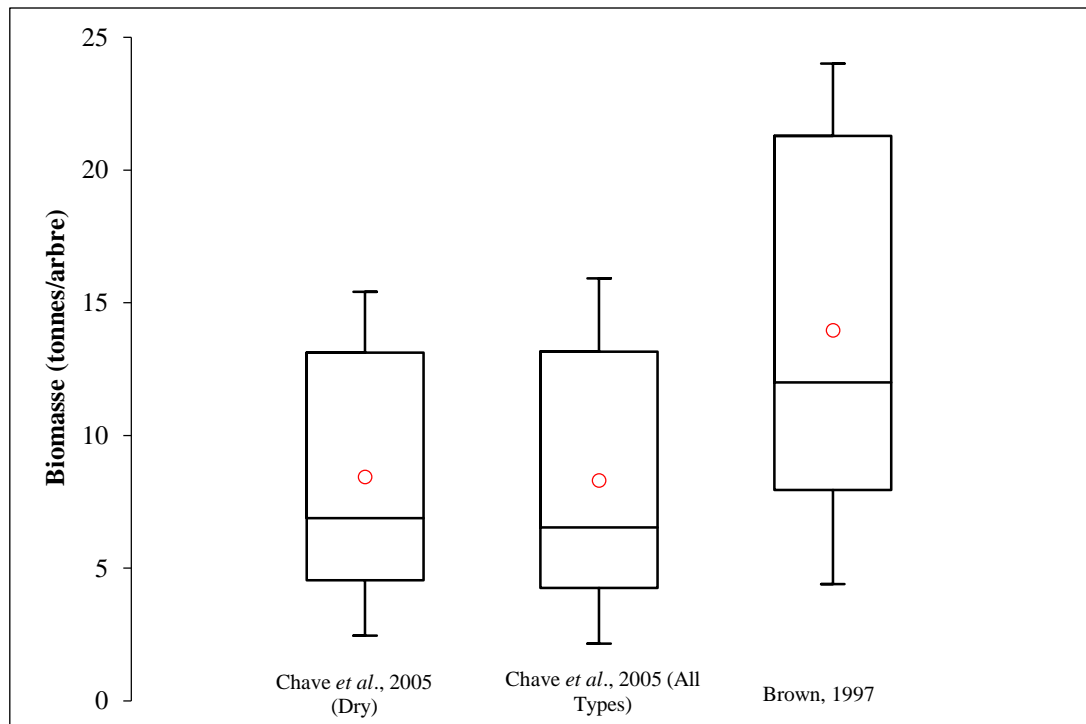


Figure 12 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts galeries

L'examen de la figure 12, montre que pour le modèle de Brown, le 1^{er} et 3^{ème} quartile sont respectivement de 7,94 et 21,29 tonnes.MS/arbre et la biomasse moyenne est de 14,14 tonnes.MS/arbre. Selon le modèle « All type », le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 4,25 et 13,15 tonnes.MS/arbre avec une moyenne de 8,46 tonnes.MS/arbre. Quant au modèle « Dry », le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 4,54 et 13,12 tonnes.MS/arbre et de moyenne 8,46 tonnes.MS/arbre. En comparant les valeurs moyennes de biomasse, on constate que la biomasse issue du modèle de Brown est supérieure à la biomasse issue des modèles « Dry » et « All type ». Le test ANOVA a révélé une différence significative de prédiction entre ces modèles au seuil de 5 % ($F = 14,902$; $p = 0,000$). Quant au test de Student-Newman-Keuls, il permet de noter que les modèles « Dry » et « All type » forment un sous-ensemble différent de celui de Brown.

4.2.3.2 Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts denses sèches

Le premier quartile (Q1), la médiane (Q2) et le troisième quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de la biomasse par arbres dans les forêts denses sèches selon chaque modèle. La figure 13 présente la variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts denses sèches.

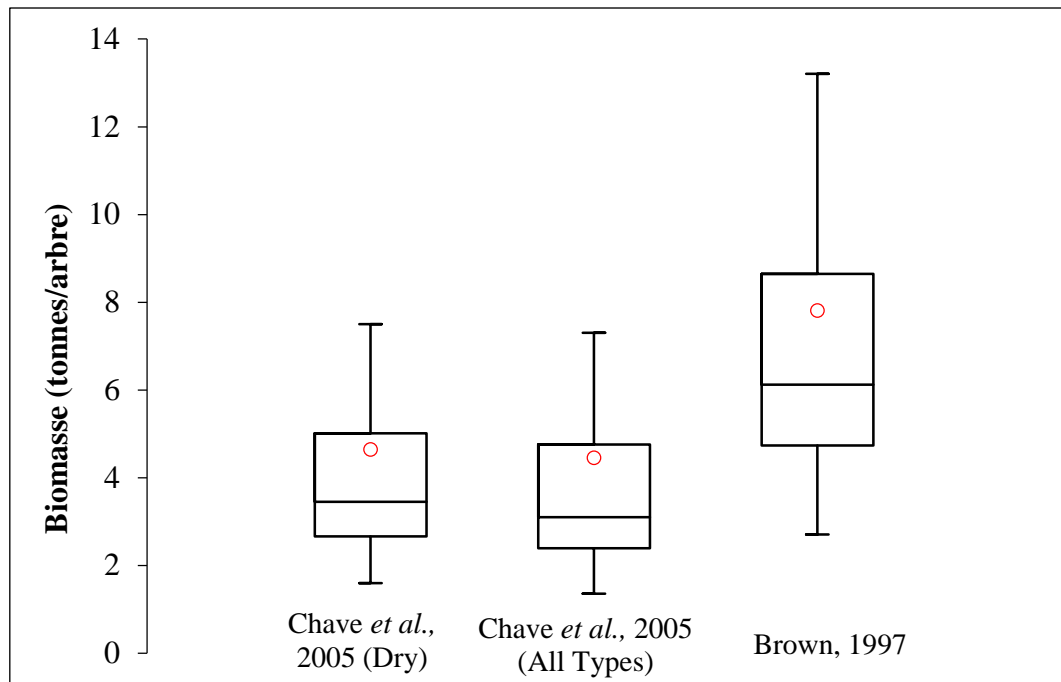


Figure 13 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts denses sèches

L'examen de la figure 13, montre que pour le modèle de Brown, le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 4,73 et 8,64 tonnes.MS/arbre et la biomasse moyenne est de 7,66 tonnes.MS/arbre. Selon le modèle « All type », le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 2,39 et de 4,75 tonnes.MS/arbre avec une moyenne de 4,4 tonnes.MS/arbre. Quant au modèle « Dry », le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 2,66 et 5,01 tonnes.MS/arbre et de moyenne 4,57 tonnes.MS/arbre. En comparant les valeurs moyennes de biomasse, on constate que la biomasse issue du modèle de Brown est supérieure à la biomasse issue des modèles « Dry » et « All type ». Le test ANOVA a révélé une différence significative de prédiction entre ces modèles au seuil de 5 % ($F = 50,215$; $p = 0,000$). Quant au test de Student-Newman-Keuls, il permet de noter que les modèles « Dry » et « All type » forment un sous-ensemble différent de celui de Brown.

4.2.3.3 Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts claires et savanes boisées

Le premier quartile (Q1), la médiane (Q2) et le troisième quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de la biomasse par arbres dans les forêts claires et savanes boisées selon chaque modèle. La figure 14 présente la variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts claires et savanes boisées.

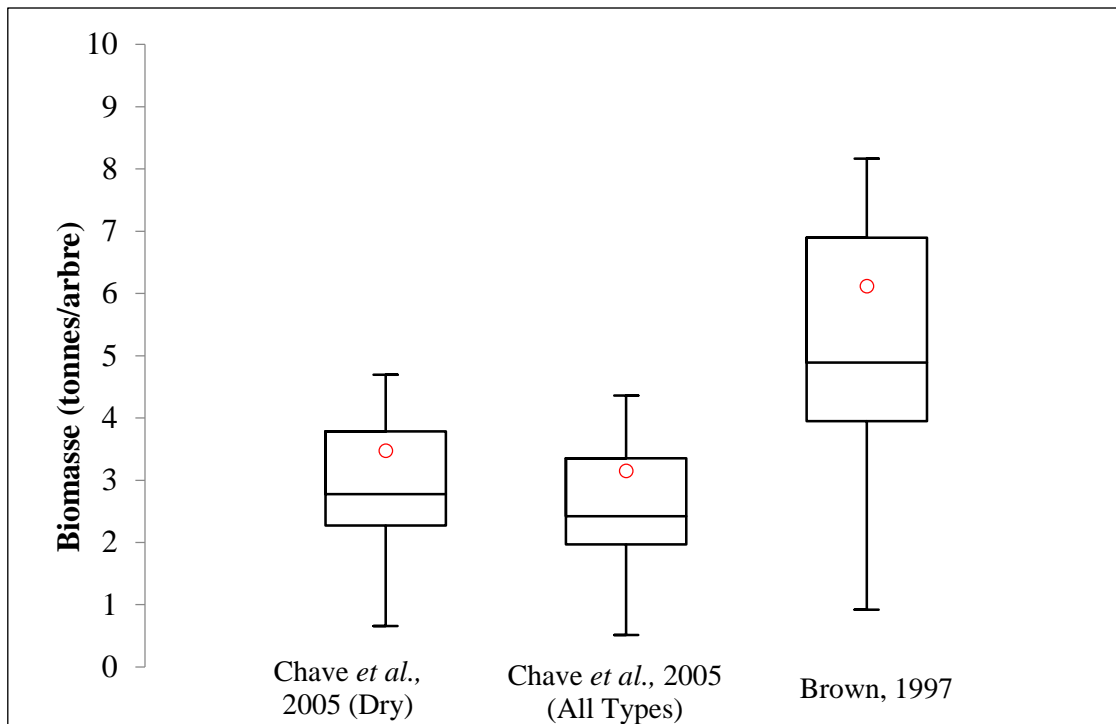


Figure 14 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts claires et savanes boisées

L'examen de la figure 14, montre que pour le modèle de Brown, le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 3,95 et 6,89 tonnes.MS/arbre et la biomasse moyenne est de 6,5 tonnes.MS/arbre. Selon le modèle « All type », le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 1,96 et 3,35 tonnes.MS/arbre avec une moyenne de 3,35 tonnes.MS/arbre. Quant au modèle « Dry », le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 2,27 et 3,78 tonnes.MS/arbre et de moyenne 3,69 tonnes.MS/arbre. En comparant les valeurs moyennes de biomasse, on constate que la biomasse issue du modèle de Brown est supérieure à la biomasse issue des modèles de « Dry » et « All type ». Le test ANOVA n'a révélé aucune différence significative de prédiction entre ces modèles au seuil de 5 % ($F = 2,355$; $p > 5\%$). Le test de Student-Newman-Keuls indique que les modèles « Dry » et « All type » et de Brown forment un seul sous-ensemble.

4.2.3.4 Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les savanes arborées et arbustives

Le premier quartile (Q1), la médiane (Q2) et le troisième quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de la biomasse par arbres dans les savanes arborées et arbustives selon chaque modèle. La figure 15 présente la variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les savanes arborées et arbustives.

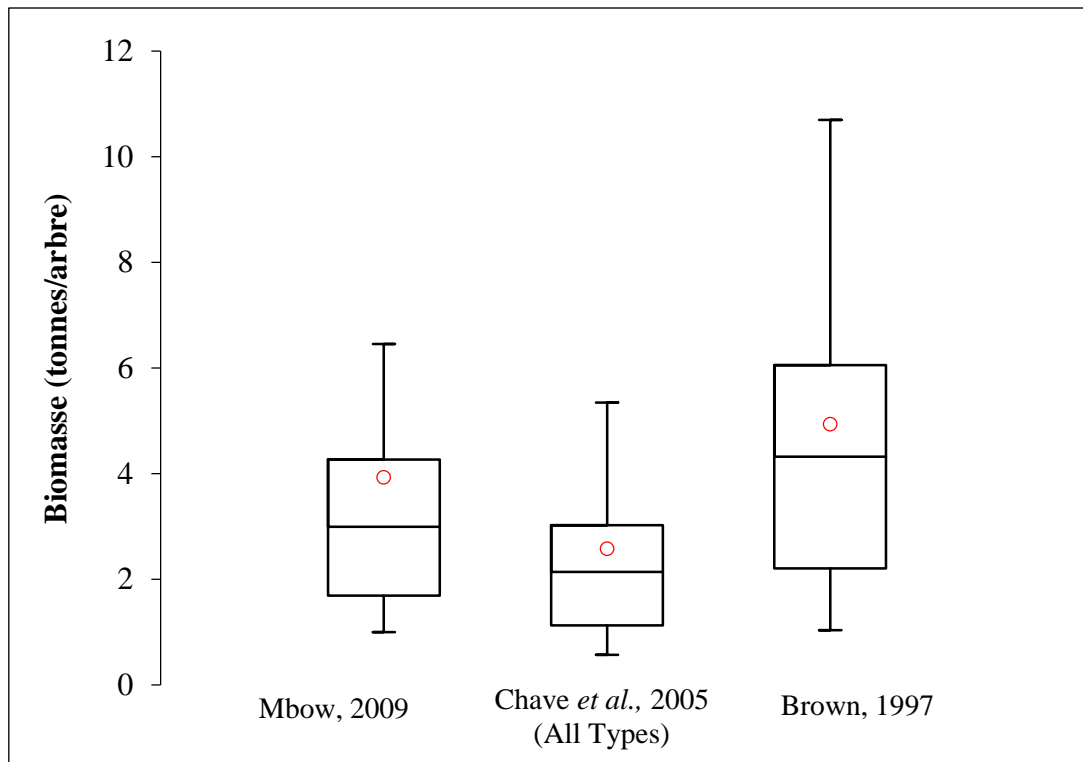


Figure 15 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse moyenne dans les savanes arborées et arbustives

L'examen de la figure 15, montre que pour le modèle de Brown, le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 2,2 et 6,05 tonnes.MS/arbre et la biomasse moyenne est de 3,88 tonnes.MS/arbre. Selon le modèle « All type », le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 1,12 et 3,02 tonnes.MS/arbre avec une moyenne de 2,02 tonnes.MS/arbre. Quant au modèle Mbow, le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 1,68 et 4,26 tonnes.MS/arbre et de moyenne 3,07 tonnes.MS/arbre. En comparant les valeurs moyennes de biomasse, on constate que la biomasse issue du modèle de Brown est supérieure à la biomasse issue du modèle « All type » et de Mbow. Le test ANOVA a révélé une différence significative de prédiction entre ces modèles au seuil de 5 % ($F = 15,058$; $p = 0,000$). Quant au test de Student-Newman-Keuls, il permet de noter que les modèles de Mbow et « All types » forment un sous-ensemble différent de celui de Brown.

4.3 Evaluation du stock de carbone séquestré par l'Unité d'Aménagement de la Réserve dans la forêt classée des Monts Kouffé

Le tableau VI présente le stock de carbone séquestré par les différentes formations végétales de l'Unité d'Aménagement de la Réserve dans la forêt classée des Monts Kouffé.

Tableau VI : Quantité de carbone séquestré par les différentes formations végétales

Type de formation végétale	Carbone		
	Kg/arbre	tonnes/ha	tonnes
FG	299,13	147,52	358 498,36
FDS	155,71	64,01	120 658,79
FCSB	118,53	30,69	1 793 338,05
SaSA	71,42	23,73	879 080,29
Moyenne	161,20	66,49	-
Ecartype	98,21	56,81	-
Total	-	-	3 151 575,49

(FG : Forêt Galerie, FDS : Forêt Dense Sèche, FCSB : Forêt Claire et Savane Boisée, SaSA : Savanes Arborée et arbustive)

L'observation du tableau VI montre que le stock de carbone dans le secteur d'étude est de 3151575,49 tonnes. En moyenne le secteur contient $66,49 \pm 56,81$ tonnes.ms/ha avec $161,2 \pm 98,21$ Kg/arbre. Le stock de carbone dans les forêts claires et savanes boisées est de 1 793 338,05 tonnes. Dans cette formation végétale, 30,69 tonnes de carbone sont stockées par hectare avec 118,53 Kg/arbre. Le stock de carbone des savanes arborées et arbustives est de 879 080,29 tonnes. Un hectare de cette formation stocke en moyenne 23,73 tonnes de carbone pour un stock par arbre d'environ 71,42 Kg. Pour les forêts galeries, le carbone stocké est de 358 498,36 tonnes (147,52 tonnes/ha). Quant aux forêts denses sèches, le stock de carbone est de 120658,79 tonnes avec 64,01 tonnes/ha.

4.3.1 Variation du stock de carbone entre les formations végétales

La figure 16 présente la variation du stock de carbone entre les formations végétales. Le 1^{er} quartile (Q1), la médiane (Q2) et le 3^{ème} quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de carbone par arbres dans chaque type de formation végétale.

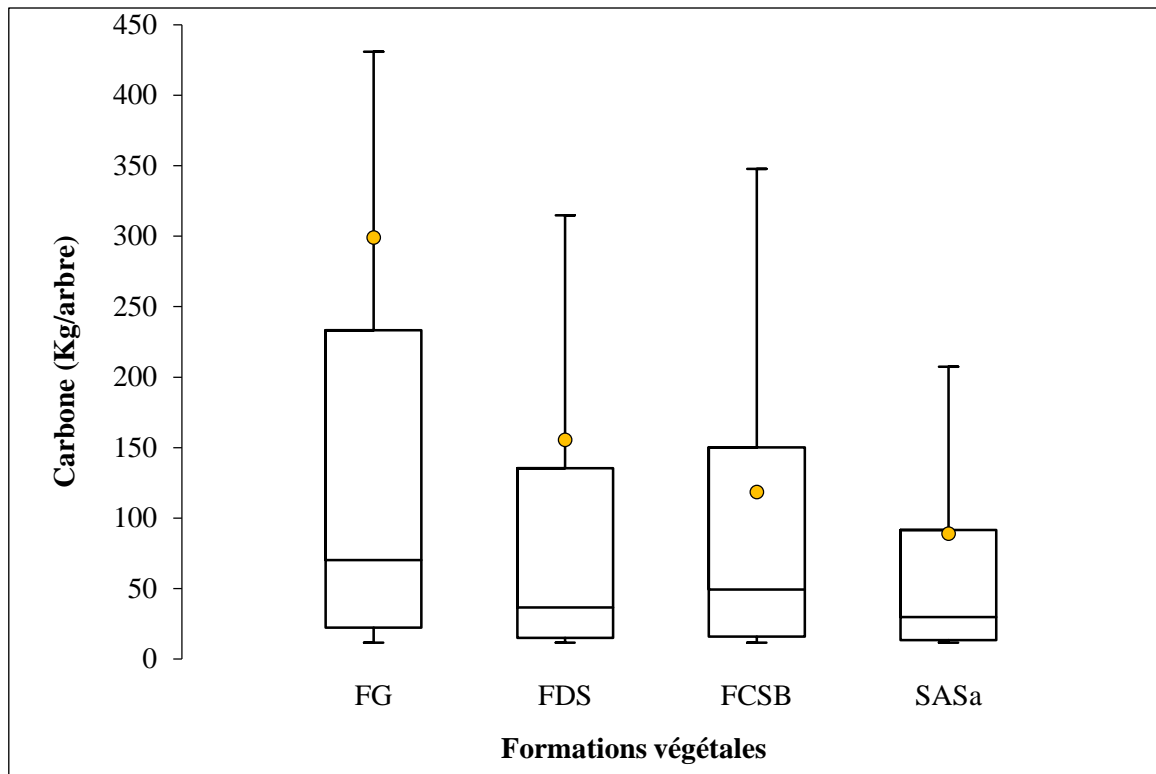


Figure 16 : Variation de carbone entre les formations végétales

L'observation de la figure 16, montre que les quantités de carbone par arbre sont plus élevées des forêts galeries et les forêts claires et savanes boisées que dans les forêts denses sèches et les savanes arborées et arbustives. Ainsi, dans les forêts galeries, le 1^{er} et le 3^{ème} quartiles sont respectivement de 22,2 Kg/arbore et de 233,28 Kg/arbore. Le stock moyen de carbone dans les forêts galeries est de 299,12 Kg/arbore et la médiane est de 70,13 Kg/arbore. Au sein des forêts claires et savanes boisées, le 1^{er} et le 3^{ème} quartile sont respectivement de 15,98 Kg/arbore et de 150,2 Kg/arbore. La valeur moyenne de carbone dans cette formation végétale est de 118,52 Kg/arbore et la médiane est de 49,37 Kg/arbore. Dans les forêts denses sèches, le 1^{er} et le 3^{ème} quartile sont respectivement de 15,07 Kg/arbore et de 135,48 Kg/arbore. Le stock moyen de carbone et la médiane dans cette formation végétale sont respectivement de 155,71 Kg/arbore et de 36,72 Kg/arbore. En ce qui concerne les savanes arborées et arbustives, le 1^{er} quartile est de 13,37 Kg/arbore et le 3^{ème} quartile est de 91,49 Kg/arbore. La valeur moyenne de carbone dans les savanes arborées et arbustive est de 89,08 Kg/arbore et la médiane est de 29,81 Kg/arbore. Le test ANOVA a révélé une différence significative de prédiction entre les stocks de carbone des formations végétales au seuil de 5 % ($F = 14,707$; $p = 0,000$). Le test de Scheffe permet de dégager deux sous-ensembles. Un sous-ensemble formé des forêts denses sèches, des forêts claires et savanes boisées et des savanes arborées et arbustives différent de celui des forêts galeries.

4.3.2 Variation du stock de carbone dans les formations végétales

4.3.2.1 Variation du stock de carbone dans les forêts galeries

La figure 17 présente la variation du stock de carbone dans les forêts galeries. Le 1^{er} quartile (Q1), la médiane (Q2) et le 3^{ème} quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de stock de carbone des classes de diamètre au sein de la formation végétale.

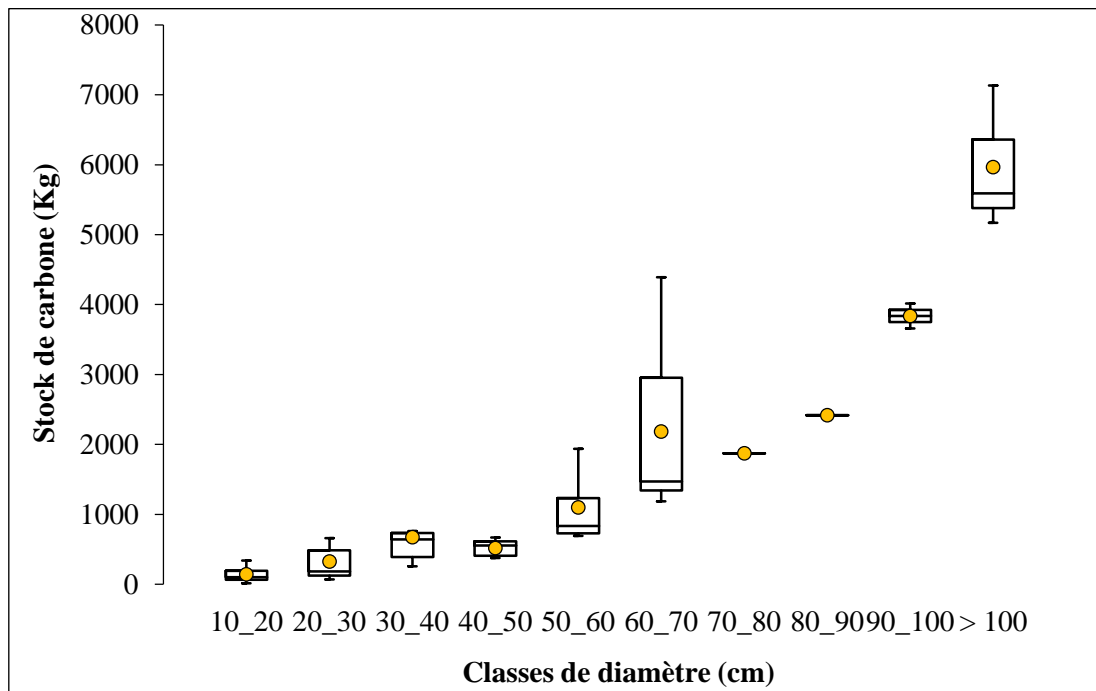


Figure 17 : Variation du stock de carbone dans les forêts galeries

L'examen de la figure 17, montre que le stock de carbone varie et évolue en fonction des classes de diamètre. Pour la classe de diamètre de 10 à 20 cm, le 1^{er} quartile est de 62,66 Kg et le 3^{ème} quartile est de 190,77 Kg. La moyenne de stock de carbone dans cette classe de diamètre est de 143,71 Kg et la médiane est de 102,62 Kg. Par contre pour la classe de diamètre > 100 cm, le 1^{er} quartile est de 5380,66 Kg et le 3^{ème} quartile est de 6361,88 Kg. La moyenne de stock de carbone dans cette classe de diamètre est de 5964,54 Kg et la médiane est de 5591,45 Kg. Les classes de diamètre compris entre 20 et 100 cm ont leurs 1^{ers} quartiles compris entre 123,08 et 3748,81 Kg et le 3^{ème} quartile compris entre 486,61 et 3925,68 Kg. La moyenne de cette classe varie entre 324,77 et 3837,25 Kg. Le test ANOVA a révélé une différence significative de stock de carbone entre les classes de diamètre au seuil de 5 % ($F = 56,745$; $ddl = 9$; $p = 0,000$). Le test de Scheffe permet de dégager six (06) groupes de classes homogènes (A, B, C, D, E et F). Le tableau VI donne les regroupements obtenus.

Tableau VII : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène

Classes	m	σ	GH
10_20	143,72	124,83	A
20_30	324,78	283,95	A, B
30_40	672,80	398,75	A, B, C
40_50	515,66	118,12	A, B
50_60	1098,26	561,90	B, C, D
60_70	2183,42	1240,90	D, E
70_80	1874,78	0,00	C, D, E
80_90	2418,49	0,00	D, E
90_100	3837,25	250,13	E, F
> 100	5964,54	1033,05	F

m : moyenne ; σ : écart-type ; GH : groupe homogène

L'intersection de ces groupes de classe permet de noter que la 1^{ère} classe (10_20) et la dernière classe de diamètre (> 100) sont les groupes extrêmes de valeurs croissantes de carbone tandis que les classes de 20_30 à 90_100 en donnent les valeurs intermédiaires dans au moins deux groupes homogènes. Le potentiel de stockage de carbone est faible dans la 1^{ère} classe de diamètre puis devient très variable dans les classes intermédiaires avant de devenir très important dans les classes supérieures de diamètre. La structure de la forêt influe donc significativement sur son potentiel de stockage de carbone.

4.3.2.2 Variation du stock de carbone dans les forêts denses sèches

La figure 18 présente la variation du stock de carbone dans les forêts denses sèches. Le 1^{er} quartile (Q1), la médiane (Q2) et le 3^{ème} quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de stock de carbone des classes de diamètre au sein de la formation végétale.

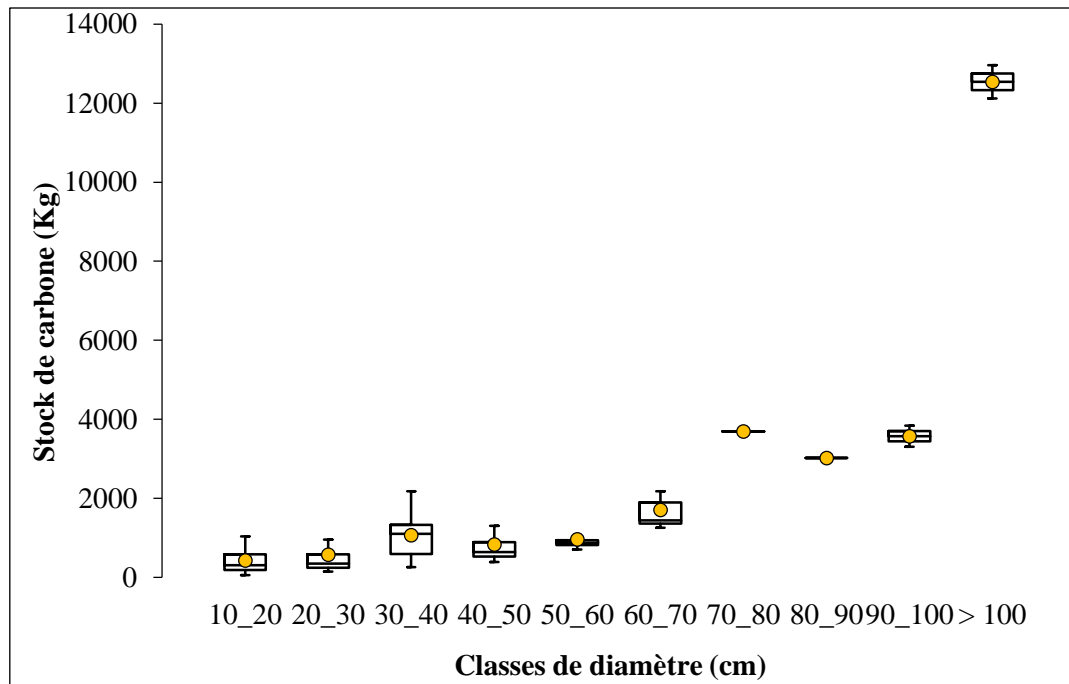


Figure 18 : Variation du stock de carbone dans les forêts denses sèches

L'examen de la figure 18, montre que le stock de carbone varie et évolue en fonction des classes de diamètre. Pour la classe de diamètre de 10 à 20 cm, le 1^{er} quartile est de 186,56 Kg et le 3^{ème} quartile est de 579,18 Kg. La moyenne de stock de carbone dans cette classe de diamètre est de 422,79 Kg et la médiane est de 306,35 Kg. Par contre pour la classe de diamètre > 100 cm, le 1^{er} quartile est de 12334,19 Kg et le 3^{ème} quartile est de 12754,89 Kg. La moyenne et la médiane de stock de carbone dans cette classe de diamètre sont respectivement de 12544,54 Kg et de 12544,54 Kg. Les classes de diamètre compris entre 20 et 100 cm ont leurs 1^{ers} quartiles compris entre 237,68 et 3438,27 Kg et le 3^{ème} quartile compris entre 572,26 et 3703,05 Kg. La moyenne de cette classe varie entre 568,19 et 3570,66 Kg. Le test ANOVA a révélé une différence significative de stock de carbone entre les classes de diamètre au seuil de 5 % ($F = 39,435$; $ddl = 9$; $p = 0,000$). Le test de Scheffe permet de dégager quatre (04) groupes de classes homogènes (A, B, C et D). Le tableau VIII donne les regroupements obtenus.

Tableau VIII : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène

Classes	m	σ	GH
10_20	422,80	332,75	A
20_30	568,19	568,59	A
40_50	830,07	578,93	A
30_40	1063,78	657,34	A, B
50_60	958,79	338,69	A, B
60_70	1704,38	550,95	A, B, C
80_90	3017,14	0,00	B, C
70_80	3694,10	0,00	C
90_100	3570,66	374,46	C
> 100	12544,55	594,96	D

m : moyenne ; σ : ecart-type ; GH : groupe homogène

L'intersection de ces groupes de classe permet de noter que les deux 1^{ères} classes (10_20 et 20_30) et les deux dernières classes de diamètre (90_100 et > 100) sont les groupes extrêmes de valeurs croissantes de carbone tandis que les classes 30_40 à 80_90 en donnent les valeurs intermédiaires dans au moins deux groupes homogènes. Le potentiel de stockage de carbone est faible dans les deux 1^{ères} classes de diamètre puis devient très variable dans les classes intermédiaires avant de devenir très important dans les classes supérieures de diamètre. La structure de la forêt influe donc significativement sur son potentiel de stockage de carbone.

4.3.2.3 Variation du stock de carbone dans les forêts claires et savanes boisées

La figure 19 présente la variation du stock de carbone dans les forêts claires et savanes boisées. Le 1^{er} quartile (Q1), la médiane (Q2) et le 3^{ème} quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de stock de carbone des classes de diamètre au sein de la formation végétale.

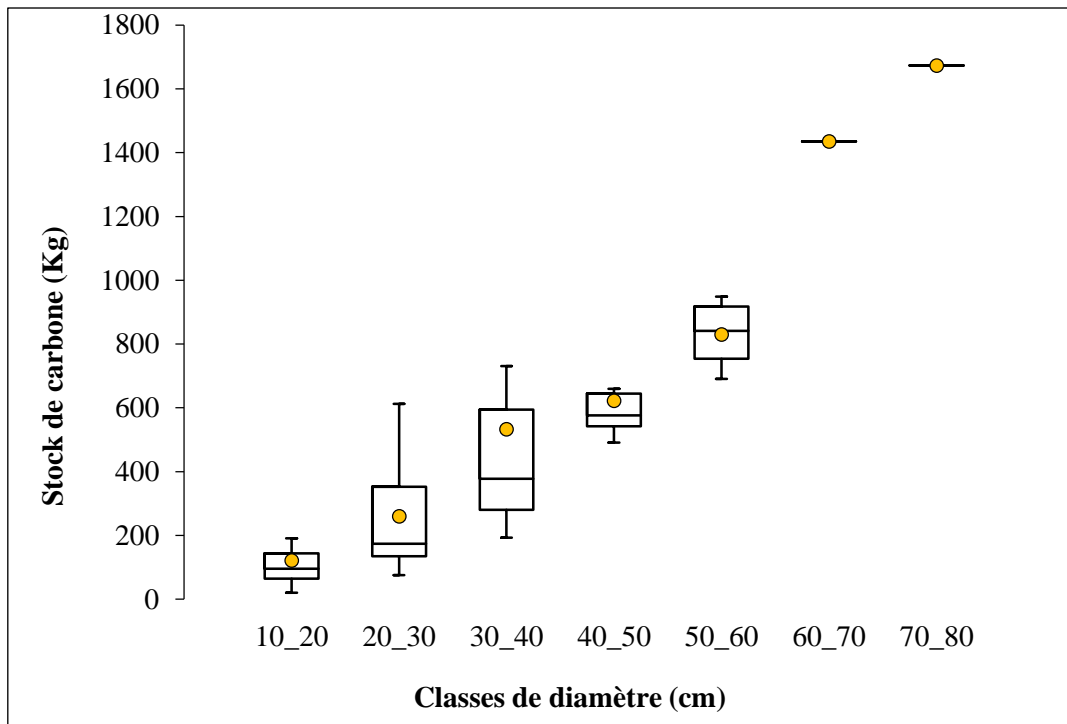


Figure 19 : Variation du stock de carbone dans les forêts claires et savanes boisées

L'examen de la figure 19, montre que le stock de carbone varie et évolue en fonction des classes de diamètre. Pour la classe de diamètre de 10 à 20 cm, le 1^{er} quartile est de 64,03 Kg et le 3^{ème} quartile est de 143,75 Kg. La moyenne de stock de carbone dans cette classe de diamètre est de 121,76 Kg et la médiane est de 95,88 Kg. Par contre pour la classe de diamètre 70 à 80 cm, le 1^{er} quartile, le 3^{ème} quartile, la moyenne et la médiane sont respectivement de 1673,04 Kg chacun. Les classes de diamètre compris entre 20 et 70 cm ont leurs 1^{ers} quartiles compris entre 134,56 et 1436 Kg et le 3^{ème} quartile compris entre 352,54 et 1436 Kg. La moyenne de cette classe varie entre 260,56 et 1436 Kg. Le ANOVA a révélé une différence significative de stock de carbone entre les classes de diamètre au seuil de 5 % ($F = 29,975$; $ddl = 6$; $p = 0,000$). Le test de Scheffe permet de dégager quatre (04) groupes homogènes (A, B, C, D). Le tableau IX donne les regroupements obtenus.

Tableau IX : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène

Classes	m	σ	GH
10_20	121,76	88,14	A
20_30	260,57	180,45	A, B
30_40	533,55	410,67	A, B, C
40_50	622,74	145,43	B, C
50_60	830,74	119,02	C, D
60_70	1436,01	0,01	D
70_80	1673,04	0,01	D

m : moyenne ; σ : écart-type ; GH : groupe homogène

L'intersection de ces groupes de classe permet de noter que la 1^{ère} classe (10_20) et les deux dernières classes de diamètre (60_70 et 70_80) sont les groupes extrêmes de valeurs croissantes de carbone tandis que les classes 20_30 à 50_60 en donnent les valeurs intermédiaires dans au moins deux groupes homogènes. Le potentiel de stockage de carbone est faible dans la 1^{ère} classe de diamètre puis devient très variable dans les classes intermédiaires avant de devenir très important dans les classes supérieures de diamètre. La structure de la forêt influe donc significativement sur son potentiel de stockage de carbone.

4.3.2.4 Variation du stock de carbone dans les savanes arborées et arbustives

La figure 20 présente la variation du stock de carbone dans les savanes arborées et arbustives. Le 1^{er} quartile (Q1), la médiane (Q2) et le 3^{ème} quartile (Q3) sont respectivement représentés par les barres horizontales inférieure, centrale et supérieure. Les points centraux représentent les moyennes de stock de carbone des classes de diamètre au sein de la formation végétale.

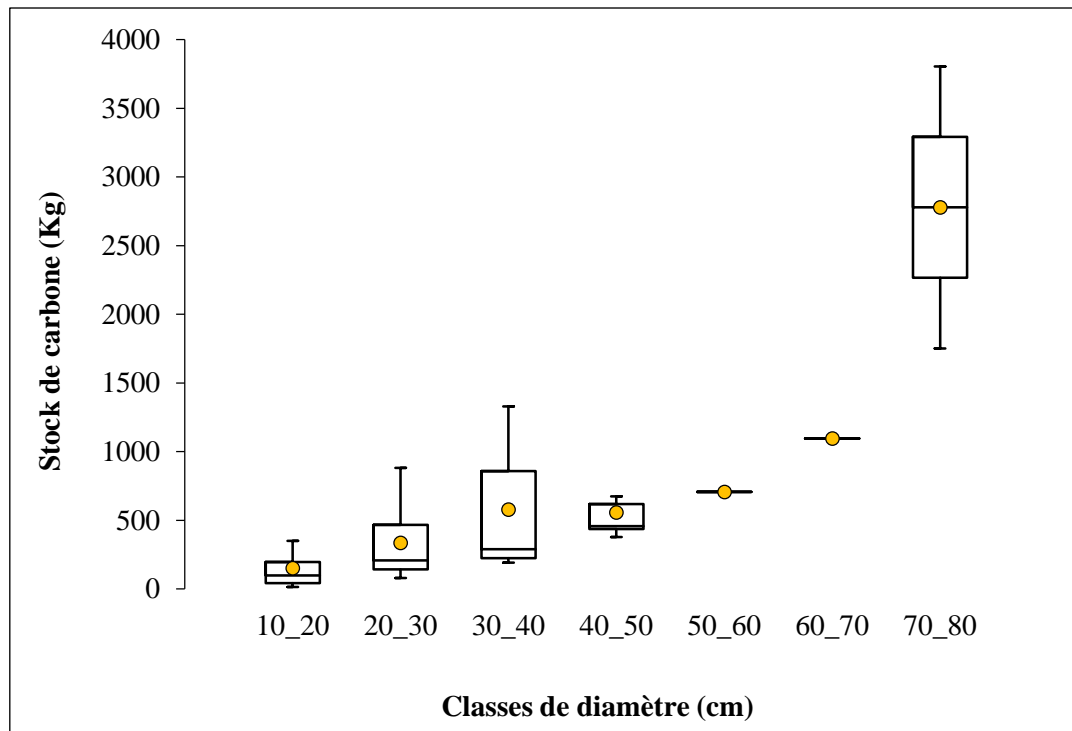


Figure 20 : Variation du stock de carbone dans les savanes arborées et arbustives

L'examen de la figure 20, montre que le stock de carbone varie et évolue en fonction des classes de diamètre. Pour la classe de diamètre de 10 à 20 cm, le 1^{er} quartile est de 42,73 Kg et le 3^{ème} quartile est de 197,53 Kg. La moyenne de stock de carbone dans cette classe de diamètre est de 152,77 Kg et la médiane est de 98,41 Kg. Par contre pour la classe de diamètre de 70 à 80 cm, le 1^{er} quartile est de 2265,6 Kg et le 3^{ème} quartile est de 3291,87 Kg. La moyenne de stock de carbone dans cette classe de diamètre est de 2778,73 Kg et la médiane est de 2778,73 Kg. Les classes de diamètre compris entre 20 et 70 cm ont leurs 1^{ers} quartiles compris entre 143,99 et 1096,71 Kg et le 3^{ème} quartile compris entre 466,97 et 1096,71 Kg. La moyenne de cette classe varie entre 336,18 et 1096,71 Kg. Le ANOVA a révélé une différence significative de stock de carbone entre les classes de diamètre au seuil de 5 % ($F = 21,716$; $ddl = 6$; $p = 0,000$). Le test de Scheffé permet de dégager trois (03) groupes homogènes (A, B, C). Le tableau X donne les regroupements obtenus.

Tableau X : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène

Classes	m	σ	GH
10_20	152,78	147,42	A
20_30	336,19	258,25	A
30_40	577,82	524,55	A, B
40_50	558,64	225,80	A, B
50_60	708,16	0,00	A, B
60_70	1096,72	0,00	B
70_80	2778,74	1451,38	C

m : moyenne ; σ : écart-type ; GH : groupe homogène

L'intersection de ces groupes de classe permet de noter que les deux 1^{ères} classes (10_20) et les deux dernières classes de diamètre (60_70 et 70_80) sont les groupes extrêmes de valeurs croissantes de carbone tandis que les classes 30_40 à 50_60 en donnent les valeurs intermédiaires dans deux groupes homogènes. Le potentiel de stockage de carbone est faible dans les 1^{ères} classes de diamètre puis devient très variable dans les classes intermédiaires avant de devenir très important dans les classes supérieures de diamètre. La structure de la forêt influe donc significativement sur son potentiel de stockage de carbone.

CHAPITRE V : DISCUSSION

5.1 Cartographie de la dynamique du couvert forestier entre 2003 et 2013

La conversion et la modification des formations végétales sont les deux phénomènes qui sont à la base de l'évolution de la végétation soit vers un état climacique ou alors vers un état de dégradation. Les formations végétales climaciques étant un état de référence dans l'analyse de l'évolution dans le temps d'une végétation, leur disparition signifie alors quelles ont été converties en d'autres unités d'occupation des terres. Les forêts denses sèches ont été majoritairement converties en forêts claires et savanes boisées (5789,9 ha) et en savanes arborées et arbustives (2443,6 ha). Cette conversion des formations végétales fermées (forêts denses sèches) en formations ouvertes est liée à la destruction de la végétation. Barima *et al.* (2009), sont parvenus à la même conclusion en étudiant la dynamique paysagère sur la base des images satellites dans la zone soudano-guinéenne en Côte d'Ivoire. Pour Toko Mouhamadou (2014), les déterminants de la fragmentation des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie sont à la fois naturels et anthropiques. Suite à la croissance démographique, diverses activités anthropiques surtout l'exploitation du bois d'œuvre et de service et la fabrication du charbon de bois sont dans la majorité des cas, clandestinement et anarchiquement exercées sur les écosystèmes forestiers de la forêt classée des Monts Kouffé. En effet, l'exploitation forestière, la carbonisation et l'élevage constituent une force de pression sur ces deux formations qui sont prises d'assaut, soit pour la coupe des essences de valeur ou encore pour le pâturage avec l'arrivée massive des éleveurs transhumants pendant la saison sèche. Plusieurs auteurs (Faaki, 1996 ; Saliou, 2001 ; Houngnon, 2008 ; Sinsin *et al.*, 2008 ; Lesse, 2010 ; Talahatou, 2015) sont parvenus à cette conclusion selon laquelle le surpâturage et la transhumance ont un impact négatif sur la végétation. Outre, la régression des forêts denses sèches, on remarque également la régression des forêts galeries (8121,4 ha en 2003 et 2432,7 ha en 2013). Cette régression s'est faite au profit des plantations. L'état dégradé de ces formations s'explique par la pression sélective exercée sur celles-ci par les exploitants forestiers. Hountondji (2008), a montré que dans les zones soudaniennes et soudano-guinéennes la tendance régressive des forêts denses sèches et des galeries forestières s'expliquent par l'exploitation forestière et les assauts saisonniers des éleveurs transhumants à la recherche des ressources fourragères et de l'eau. Les résultats obtenus sont similaire à ceux de Oloukoï *et al.* (2006) dans le Département des Collines adjacent à la partie nord-ouest de la Commune de Djidja. En étudiant la dynamique de l'occupation des terres, ils ont conclu que les formations végétales naturelles régressent au profit des champs et des jachères. Un peu plus au nord, dans la Commune de Tchaourou et précisément dans les localités de Igbo Makro et de Wari-Marou,

Sounon Bouko (2011), en analysant l'impact de la colonisation agricole sur le couvert végétal est parvenu à la conclusion que les formations végétales régressent au profit des champs et des jachères. Vodougnon (1996), également dans une étude de la dynamique de l'occupation des terres au sud sur le plateau d'Abomey montre que la variation de l'occupation des terres se fait au profit des champs et des jachères. Comme l'ont évoqué ces auteurs, Batiano *et al.* (2005), Savadogo (2007), Sawadogo (2009) et Dayamba (2010), dans le secteur de la réserve de la forêt classée des Monts Kouffé, à travers ces activités, l'homme est devenu le principal facteur de dégradation des formations végétales. L'hypothèse qui suggère que la dynamique régressive du couvert forestier de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé est due aux actions anthropiques est vérifiée.

5.2 Estimation de la quantité de la biomasse aérienne ligneuse

La densité spécifique moyenne globale de $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$ utilisée dans cette étude est très proche de celles des arbres en Afrique à savoir : $0,61 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Atibs (1982) ; $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Brown (1997) ; $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Goldsmith et Carter (1981) ; $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Howard (1951) ; $0,61 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Kryn et Fobes (1959) ; $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Reyes *et al.* (1992) ; $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Sallenave (1955) ; $0,65$ pour Sylla et Picard (2007) et $0,61 \text{ g.cm}^{-3}$ pour Tree Talk (2005). La densité spécifique moyenne de $0,62 \text{ g.cm}^{-3}$ déclaré par IPCC (2003) est de 4 % supérieure à celle de la présente étude, mais cette densité du bois des arbres en Afrique se situe entre $0,58$ et $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ avec une valeur moyenne de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$. Les valeurs de la densité spécifique moyenne du bois rapporté pour les arbres en Afrique sont plus basses que ceux d'Amérique du Sud, qui ont une valeur moyenne de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$ (Fearnside, 1997) et $0,69 \text{ g.cm}^{-3}$ (Brown *et al.*, 1989). Cependant, la variabilité de la densité du bois est principalement influencée par les espèces d'arbres considérées. De ce fait, l'utilisation de valeurs moyennes de densité du bois au lieu de celles spécifiques aux espèces introduit un biais et une différence dans l'estimation de la biomasse. Ces différences ont été observées entre et dans les différentes formations végétales. Pour la même formation végétale, dans les savanes arborée et arbustive, l'équation de Brown (1997) prédit la plus forte valeur de biomasse par arbre (4,93 tonnes) et l'équation All types de Chave *et al.* (2005) prédit la plus faible valeur biomasse par arbre (2,58 tonnes). Aussi, pour l'équation All types de Chave *et al.* (2005), entre les différentes formations végétales la plus forte valeur de biomasse est observée dans les forêts galeries (295,05 tonnes/ha) et la plus faible valeur de biomasse est obtenue dans les savanes arborée et arbustive (37,62 tonnes/ha). La comparaison des équations allométriques indique que l'équation allométrique de Brown (1997) donne une plus grande valeur de la biomasse par rapport à l'équation de Mbow (2009) qui

donne les valeurs de biomasse légèrement que celle de Chave *et al.* (2005). L'estimation de biomasse à partir du modèle proposé par Brown (1997) présente des limites au niveau de la validation ; celle-ci étant faite sur les écosystèmes de savane de l'Amérique du Sud, ou des forêts sèches d'Inde. L'équation de Brown (1997) a été développée sur la base de 168 arbres ayant un diamètre maximum de 148 cm dans les zones humides avec une pluviométrie supérieure à 900 mm/an. D'autre part, les équations de Chave *et al.* (2005) ont été développées sur la base d'une plus large taille de l'échantillon qui a impliqué 2410 arbres où la pluviométrie est inférieure à 1500 mm/an. Les différences d'allométrie induisent donc des différences importantes dans l'estimation de la biomasse. Pour plusieurs auteurs comme Kenzo *et al.* (2009), Henry (2010), Melson *et al.* (2011), différentes équations allométriques appliquées aux mêmes mesures de diamètre et de hauteur des arbres sur le terrain conduisent à des différences marquées d'estimation de la biomasse. Toutefois, on peut considérer que la mise en œuvre d'équations se fonde sur des données de base collectées dans des écosystèmes dont la répartition est fonction de la pluviométrie (tableau I). Henry (2010) estime que pour la zone climatique humide, l'amélioration de l'estimation est principalement attribuable à l'inclusion de la densité du bois spécifique plutôt que la hauteur des arbres. Selon ce même auteur, l'équation qui intègre plus d'une dimension de l'arbre améliore l'estimation de la biomasse. Pour Baker *et al.* (2004), la plupart de la variabilité de la biomasse est lié au diamètre et la densité du bois qui composent les modèles. Donc l'hypothèse selon laquelle la biomasse aérienne ligneuse de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé varie selon les modèles allométriques est vérifiée.

4.3 Evaluation du stock de carbone séquestré

L'évaluation du stock de carbone dans une forêt tropicale n'est pas quelque chose de trivial ou d'automatique car aucune table n'existe. L'estimation du stock de carbone dans la forêt dépend de la connaissance de la biomasse aérienne sèche (Vieira *et al.*, 2008). Il a été signalé que le carbone contenu dans la biomasse sèche d'un arbre est de 50 % (Brown et Lugo, 1992 ; Roy *et al.*, 2001 ; Malhi *et al.*, 2004, Chave *et al.*, 2004, 2005 et 2014). Toutefois, il faut signaler que la fraction du carbone dans le bois présente certaines petites variations selon les espèces (Elias et Potvin, 2003 ; Chave *et al.*, 2005). En supposant que 50 % de la biomasse est constitué de carbone, le stockage de carbone dans les placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe est de 180 tonnes/ha (Dorvil, 2010). Cette valeur est supérieure à celle du secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin qui varie entre 23,73 et 147,52 tonnes/ha. Les travaux de Woomer *et al.* (2004) montrent également que dans la zone soudano-guinéenne des stocks totaux de carbone des forêts est de l'ordre de

60 tonnes/ha. Si on déduit les stocks de la biomasse herbacée on se situe à des niveaux de stocks de l'ordre de 40 à 50 tonnes/ha pour la biomasse ligneuse sur pied. Ces résultats ne sont pas en adéquation avec les estimations obtenues dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin. Dans les forêts galeries et les forêts denses sèches, le stock de carbone à l'hectare respectivement de 147,52 et 64,01 est supérieur à celui obtenu par Woomer *et al.* (2004). Par contre, pour les savanes arborées et arbustives, la quantité de stock de carbone qui est de 18,81 tonnes/ha et de 30 tonnes/ha pour les forêts claires et savanes boisées est inférieure à celle de Woomer *et al.* (2004). De plus, les résultats obtenus sur les stocks de carbone sont moins importantes que ceux estimés par d'autres études. Le stock de carbone calculé par Mugnier *et al.* (2009) sur 4,8 millions d'hectares de forêt dans le bassin du Congo varie de 162 à 150 tonnes/ha en utilisant la méthode allométrique de Chave *et al.* (2005). Le stock calculé par Brown *et al.* (2005) au Congo est de 223 tonnes/ha. Lewis *et al.* (2009), sur 163 ha fournissent un stock de 202 tonnes/ha pour les arbres de plus de 10 cm de diamètre. Djuikouo *et al.* (2010), sur 14 ha dans les forêts sur terre ferme et dans les forêts inondables, donnent des valeurs de 283 à 182 tonnes/ha de carbone pour les arbres de plus de 10 cm de diamètre. Au sud du Cameroun, Duguma *et al.* (2000), estiment le stock de carbone dans les forêts primaires à 243 tonnes/ha contre 227 tonnes/ha pour Gockowski *et al.* (2011). A l'Est du Ghana, ce stock est de 155 tonnes/ha (Wade *et al.*, 2010). L'observation principale qui ressort est que la structure des formations étudiées influe très fortement sur les stocks de carbone. Le principal élément qui influence les différences de stocks de carbone est le diamètre. Selon Brun (2002) et Gibbs *et al.* (2007), le diamètre explique plus de 95 % de la variation des stocks de carbone dans les forêts tropicales, même dans les régions très diverses. Ce qui se confirme avec les études de Durot (2013) dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre Cameroun qui observe que le carbone stocké par les cacaoyers et par les arbres de diamètre inférieur 30 cm est minime par rapport au carbone stocké par les arbres de diamètre supérieurs à 30 cm. Ainsi, il conclut que le diamètre influe sur les stocks de carbone totaux. L'hypothèse qui stipule que les arbres à grands diamètres de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé stockent de grandes quantités de carbone est donc vérifiée.

CONCLUSION

La cartographie du couvert forestier à partir des orthophotoplans de 2003 et des images satellites Landsat 8 OLI/TIRS a permis d'analyser la dynamique des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres. Les forêts denses sèches, les forêts galeries et même les savanes arborées et arbustives ont connu une diminution de leur superficie au profit des forêts claires et des savanes boisées et des plantations. Les programmes "PontiusMatrix22" et "Intensity Analysis02" de Aldwaik et de Pontius ont permis de mesurer les intensités des changements et les vitesses de ces changements au niveau des catégories d'occupation des terres entre 2003 et 2013 qui dans l'ensemble, ont été plus rapides.

Le modèle de Mbow (2009), les modèles développés par Chave *et al.* et celui de Brown ont permis de vérifier si les unités d'occupation des terres représentent des unités homogènes de biomasse et de quantité de carbone face à une diversité d'équation allométrique. Eu égard aux résultats obtenus, il est possible d'affirmer qu'il existe une disparité de quantification de biomasse et que cette variabilité peut être associée aux types formations végétales et au type de modèle utilisé. En comparant les valeurs, on remarque que le modèle proposé par Brown prédit les plus grandes valeurs de biomasse par rapport aux modèles de Chave *et al.* et de Mbow au sein des unités d'occupation des terres. La comparaison des valeurs moyennes de biomasse prédite par ces différents modèles a révélé une différence significative de prédiction entre ces modèles au seuil de 5 % et la structuration des moyennes permet de noter que le modèle de Mbow et ceux de Chave *et al.* forment un groupe homogène différent de celui de Brown dans toutes les unités d'occupation des terres à l'exception des forêts claires et des savanes boisées. Le stock de carbone évalué à partir des valeurs de biomasse issue de l'équation All types de Chave *et al.* a montré que les forêts claires et savanes boisées ont stocké une plus grande quantité de carbones. Elles sont suivies des savanes arborées et arbustives, des forêts galeries et enfin des forêts denses sèches. La relation effectuée entre les valeurs de stock de carbone et les classes de diamètre montre une étroite relation entre ces variables. La relation indique que la quantité de carbone séquestrée est faible dans les premières classes, devient variable dans les classes intermédiaires et devient très important dans les grandes classes. Cette étude comporte quelques insuffisances qui pourraient introduire des biais au niveau des résultats. Il s'agit notamment de l'utilisation de la densité spécifique par défaut pour toutes les espèces dans les équations qui exigent la prise en compte de ce paramètre.

PERSPECTIVE POUR LA THESE

Sujet : Diversité végétale et estimation de la biomasse dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari au Nord-Bénin

Justification

Le carbone est au cœur des discussions internationales sur l'effet de serre et le réchauffement climatique (Dupouey *et al.*, 2005). Dans ce cadre, la forêt assure un rôle primordial en captant les composés atmosphériques contenant du carbone par la photosynthèse ou en libérant du CO₂ par respiration, décomposition et par combustion (Dupouey *et al.*, 2005). Pour cela, la forêt est le principal réservoir terrestre de carbone susceptible de se comporter selon le cas en puits ou en source (Morrison *et al.*, 1993). Malheureusement, avec la pression démographique, les activités humaines tendent à réduire considérablement les forêts du monde en général, et les forêts tropicales en particulier. En effet, les évaluations faites par la FAO montrent qu'en 1980 leur superficie diminuait de 11,3 millions d'hectares par an et qu'en 1990 le rythme annuel de déforestation était passé à 15,4 millions d'hectares par an (FAO, 2005). A cette déforestation correspondrait une perte importante de biomasse dont la combustion ou la dégradation renvoyait, dans l'atmosphère des millions de tonnes de carbone qui ne pouvaient que contribuer à l'augmentation de l'effet de serre et du changement du climat.

Créée comme aire protégée à partir des années 50 et réserve de biosphère depuis 1986, la Réserve de la Pendjari n'avait pas échappé dans son ensemble, à une dégradation progressive de ses ressources. L'engagement pour cette étude est motivé par le fait qu'après plus de six décennies d'établissement des aires protégées de l'actuelle Réserve de Biosphère de la Pendjari (RBP), des problèmes comme la chasse clandestine et autres actes illicites d'exploitation des ressources naturelles dont l'empiètements agricoles qui contribuent à la libération du carbone persistent encore et ce, malgré les importants efforts d'investissement consentis dans le cadre de grands projets d'aménagement et de gestion. Cette dégradation est liée au désintéressement qu'éprouvent les populations riveraines à l'égard de l'aire protégée qui est devenue selon l'expression de Sournia (1990) «un garde-manger entouré de faim». Face à ces enjeux économiques et écologiques, il est essentiel d'évaluer précisément la quantité de carbone séquestrée par la Réserve de Biosphère de la Pendjari et de comprendre le rôle de cette réserve, notamment son potentiel d'atténuation dans le réchauffement climatique.

Ainsi des objectifs sont fixés pour atteindre ce but.

Objectif global

L'objectif global de l'étude est d'évaluer le rôle écologique joué par la Réserve de Biosphère de la Pendjari dans le processus de la lutte contre le Réchauffement Climatique.

Objectifs spécifiques

Plus spécifiquement, il s'agira de :

- déterminer la diversité floristique de la Réserve de Biosphère de la Pendjari ;
- déterminer les paramètres structuraux de la végétation de Réserve de Biosphère de la Pendjari ;
- évaluer la biomasse vivante et la quantité de carbone séquestrée par la Réserve de Biosphère de la Pendjari ;
- Modéliser la dynamique du carbone dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ajonina G. (2013). Etablissement du bilan carbone des mangroves des zones humides du Complexe Ouest du Sud-Bénin en vue de la préparation d'un projet MDP, *Rapport de Consultation*, 79 p.

Alamgir M. et Al-Amin M. (2008). Allometric models to estimate biomass organic carbon stock in forest vegetation. *Journal of Forestry Research* 19, pp. 101–106

Alves L. F. (2010). Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). *For. Ecol. Manage.*, **260**, pp. 679-691

Aldwaik S. Z. et Pontius Jr. R. G. (2012). Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and urban planning*, **106**, pp. 103-114

Akoegninou A., Van der Burg W. J. & Van der Maesen L. J. G. (2006). Flore Analytique du Bénin. Wageningen University Papers, 1034 p.

Arbonnier M. (2002). Arbres, Arbustes et Lianes des Zones Sèches d'Afrique de l'Ouest. Cirad Éditions, MNHN, UICN: Montpellier ; Paris : France; 574.p.

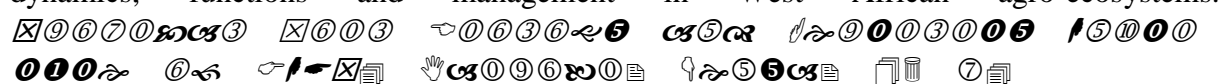
Arouna O. (2012). Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 246 p.

Arouna O., Toko I., Djogbénu C. P. & Sinsin B. (2009). Dynamique et caractéristiques phytoécologiques des formations végétales résiduelles dans la commune de Djidja au Bénin dans *Actes Vol II : Science exactes de l'Ingénieur et de la Vie*. pp.406-421

Baker T. R, Phillips O. L, Malhi Y. (2004). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, **10**, pp. 545–562

Banin L, Feldpausch T. R., Phillips O. L. (2012). Cross-continental comparisons of maximum tree height and allometry: testing environmental, structural and floristic drivers. *Global Ecology and Biogeography*, **21**, pp. 1179-1190

Barima Y. S. S., N., Barbier I., Bamba, D., Traoré J., Lejoly et Bogaert J. (2009). Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne, *Bois et Forêts des Tropiques*, **299**, 1, pp 15-25

Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B. □ Kimetu J. (2005). Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. 

- Bernier B. (1992). Introduction à la macroéconomie. Dunod, Paris, 217 p.
- Boer, G. J., Flato, G. et Ramsden, D. (2000). A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: Projected climate to the twenty-first century *Climate Dynamics*. pp. 427-450
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer. FAO *Forestry Paper*, Rome, Italy 134 p.
- Brown, S. and Lugo A. E. (1992). Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17 (1), pp. 8-18
- Brown S., Gillepsie A. J. R., Lugo A. (1989). Biomass estimation Methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 38 : pp. 881-902
- Brunet R. (1997). L'Aménagement du Territoire, Paris, La Documentation française 305 p.
- Cairns M. A., I. Olmsted J., Granados et Arguez J. (2003). Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *For. Ecol. Manage.* 186 : pp. 125-132
- Chave, J., Muller-Landau, H.C., Baker, T. R., Easdale, T. A., ter Steege, H. and Webb, C. O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 *Neotropical tree species*. *Ecological Applications*, 16: pp.2356-2367
- Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M. A., Chambers J. Q. Eamus, D. Folster, H. Fromard, F. Higuchi, N. Kira, T. Lescure, J.-P. Nelson, B. W., Ogawa H., Puig H., Riera B. and Yamakura T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, pp.87-99
- Chave J., Hai M.-M. N, Burquez A., Chidumayo E., Colgan M. S., Delitti W. B.C., Duque A., Eid T., Fearnside P., Goodman R., Henry M., Yrizar A. M., Mugasha W. A., Mullerlandau H. C., Mencuccin M., Nelson B. W., Ngomanda A., Nogueira E. M., Malavassi E. O., Pelissier R., Ploton P., Ryan C. M., Saldarriaga J. G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, pp. 3177-3190
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S. & Perez., R. (2004) Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 359, pp. 409-420
- CCNUCC, (2005). Préserver le climat. Guide de la Convention sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto, Bonn, Allemagne, 41p.
- Collet C. (1992). Systèmes d'Information Géographique en mode image. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, *Col. Gérer l'environnement n°7*, 186 p.

Damien V. (2011). Elaboration d'une méthodologies d'estimation de la biomasse ligneuse aérienne de populations d'espèces commerciales du Sud-Est du Cameroun. Master en Bioingénieur en Gestion des Forêts et des Espaces Naturels. Université de Liège. 1147 p.

Dayamba S. D. (2010). Fire, plant-derived smoke and grazing effects on regeneration, productivity and diversity of the Sudanian savanna-woodland ecosystem. Diss. (sammanfattning/summary) Alnarp : *Sveriges lantbruks univ., Acta Universitatis agriculturae Sueciae*, 1652-6880 ; 2010:65

Deans, J. D., Moran J. & Grace J. (1996). Biomass relationships for tree species in regenerating semideciduous tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 88: pp. 215-225

De Souza S., 2008. Flore du Bénin. Tome 3. Deuxième édition, 679 p.

Djogo J. G. M. (2007). Phytosociologie de la végétation de sous-bois et impact écologique des plantations forestières sur la diversité floristique au sud et au centre du Bénin. Thèse de doctorat, Université d'Abomey Calavi, 388 p.

Djuikouo M. N. K., Doucet J.-L., Nguembou C. K., Lewis, S. L., Sonké B. (2010). Diversity and aboveground biomass in three tropical forest types in the Dja Biosphere Reserve, Cameroon. *African Journal of Ecology*, 48 (4): pp. 1053-1063.

Duguma B., Gockowski J., & Bakala J. (2000). Smallholder Cacao cultivation in agroforestry systems of West Africa challenges and opportunities 18 p.

Dupouey J. L. et Pignard G. (2001). Quelques problèmes posés par l'évaluation des stocks et flux de carbones forestiers au niveau national. 7 p.

Dubroeuq D., (1977b). Carte pédologique de Reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : Feuille Parakou, ORSTOM, Notice explicative, no 66, (5), 37 p.

Elias, M. and C. Potvin. 2003. Assessing inter-and intra-specific variation in trunk carbon concentration. *Can. J. For. Res.* 33: pp. 1039-1045

Faaki V. A. (1996). Analyse des formes d'occupation concurrente des terres dans la zone tampon aux aires protégées : cas du périmètre de Sampèto dans la sous-préfecture de Banikoara au Nord du Bénin. 9 p.

Faure P., (1977a). Carte pédologique de Reconnaissance de la République Populaire du Bénin au 1/200 000 : Feuille Djougou, ORSTOM, Notice explicative, no 66, (4), 49 p.

FAO (2011). Evaluation des ressources forestières mondiales : Rapport principal. FAO, Rome. 58 p.

FAO (2005). Evaluation des ressources forestières nationales du Cameroun. Rapport, Yaoundé, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 231 p.

- Fearnside, P. M. (1997). Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, **90**, 59-87.
- Fox J. C., Yosi C. K., Nimiago P., Oavika F., Pokana J. N., Lavong K. & Keenan R. J., (2010). Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. *Biotropica*, 42(4), pp. 410-419
- Gibbs H. K., Brown S., Niles J. O. & Foley J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks : making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 20 p.
- GIEC (2001). Bilan 2001 des changements climatiques : mesures d'atténuation. Rapport du groupe de travail III du GIEC. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 93 p.
- Goldsmith B. and Carter D. T. (1981). Prospect: The Wood Database Version 2.1
- Henry M., 2010. Carbon stocks and dynamics in Sub Saharan Africa. Thèse de Doctorat : 300 p.
- Houinato M. R. B., (2001). Phytosociologie, écologie, production et capacité de charge des formations végétales pâturées dans la région des Monts Kouffé (Bénin). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Laboratoire de Systématique et Phytosociologie. ULB, Belgique, 241 p.
- Houngnon A. (2008). Gestion et conservation des ligneux fourragers en zone soudanienne, république du Bénin. Thèse d'Ingénieur Agronome, 89 p.
- Hountondji Y. C. H. (2008). Dynamique environnementale en zones sahéliennes et soudanaises de l'Afrique de l'ouest. Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal, thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique, 131 p.
- ILWAC, 2013. Estimation du potentiel de séquestration du Carbone au mali. Guide méthodologique, 20 p.
- IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (LULUCF). Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan, s.p.
- Kaire M., Ouedraogo S. J., Belem M., Sarr B., (2008). Guide d'estimation des réserves de carbone dans les écosystèmes agro sylvo pastoraux en Afrique. *Postère*.
- Kenzo, T. et Ichie T. (2009). Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology* **25** (04): pp. 371-386.
- Kioko J. & Okello M. M., 2010. Land use cover and environmental changes in a semiarid rangeland, Southern Kenya. *Journal of Geography and Regional Planning*, 3 (11): pp 322-326.

Lal R. (2001). Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Climatic Change* **15**: pp. 35-72

Leroy M., Derroire G., Vendé J., Leménager T. (2013). La gestion durable des forêts tropicales. De l'analyse critique du concept à l'évaluation environnementale des dispositifs de gestion. 240 p.

Lesse D. P. A. A. (2010). Analyse de la gestion pastorale et de l'adaptation des éleveurs transhumants face aux variabilités climatiques dans les communes riveraines de la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W (Bénin). Diplôme d'Etudes Approfondies, Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin, 85 p.

Lewis S., Lopez-Gonzalez G., Sonké B., Affum-Baffoe K., Baker T., Ojo L., Phillips O., Reitsma J., White L., Comiskey J., Djuikouo M. N., Ewango C., Feldpausch T., Hamilton A., Gloor M., Hart T., Hladik A., Jon Lloyd Lovett J., Makana J. R., Malhi Y., Mbago F., Ndangalasi H., Peacock J., Peh K., Sheil D., Sunderland T., Swaine M., Taplin J., Taylor D., Thomas S., Votere R., Wöll H. (2009). Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, 457: pp. 1003-1006.

Magnunssen S. et Reed D. (2013). Modélisation pour l'estimation et la supervision. FAO, 28 p.

Mbow C. (2009). Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 102 p.

MEA (2005). Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire, Millenium Ecosystem Assessment. Rapport de synthèse, 31 p.

Melson, S. L. et Harmon M. E. (2011). Estimates of live-tree carbon stores in the Pacific Northwest are sensitive to model selection. *Carbon Balance and Management* **6** (2).

Mitchell A. T., J. K. Zimmerman, J. Pascarella, J., Marcano-Vega, and L. Rivera. 2000. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology. *Restoration Ecology* 8: pp. 328–338

Montagnini, F. et Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry systems*. pp. 281-299.

Morrison I. K., Foster N. W. et Hazlett P. W. (1993). Carbone reserves carbone cycle, and harvesting Effects in three mature forest types in Canada: *New zealand journal of forestry science*. pp 403-412.

Mugnier A., Cassagné B., Bayol N., Lafon C. (2009). Estimation des stocks de carbone des forêts du bassin du Congo pour le REDD : étude comparative conduite sur 22 types forestiers,

4 pays et un dispositif d'aménagement-4,8 million d'ha. XIII^e congrès forestier mondial, Buenos Aires, Argentine.

Nasi R., et Frost P. G. H. (2009). Sustainable forest management in the tropics : is everything in order but the patient still dying ?, *ecology and society*, 14 (2), 40 p.

Nations Unies (1992b). Non-Legally Binding Authoritative statement of Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and sustainable Development of All types of Forests”, World Commission on environment and Development, A/ CONF.151/26 (Vol. I). Annex III, rio de Janeiro.

Ndao M., (2009). Dynamiques et gestion environnementales de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès) et Saint-Louis. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 371 p.

Negi J. D. S., Chauhan P. S. et Negi M., (2003). Evidences of climate change and its impact on structure en fonction of forest ecosystems in and around doon vally. *Indian forester*, 129 (6), pp. 757-769.

Odjoubèrè J., (2014). Pression sur les espèces végétales ligneuses de la série de protection de la forêt classée des Monts Kouffé au Bénin. Thèse de Doctorat Unique, École Doctorale Pluridisciplinaire, FLASH, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 175 p.

Oelbermann, M., Voroney, R. P. et Gordon, A. M. (2004). Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 104: pp.359-377.

Oloukoï J., Mama V. J. & Agbo F. B., (2006). Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des Collines au Bénin. *Télédétection* 6 (4), pp 305-323.

OIBT, (2002). Directives OIBT pour la restauration, l'aménagement et la réhabilitation des forêts tropicales dégradées et secondaires, 92 p.

Oumorou M. (2003). Etudes écologique, floristique, phytogéographique et phytosociologique des inselbergs du Bénin. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Laboratoire de Botanique systématique et de Phytosociologie, 210 p.

PAMF, (2007). Plan d'Aménagement Participatif du complexe des forêts classées de Wari-Marou et des Monts Kouffé. 267 p.

Palm, C. A., Woomeer, P. L., Alegre, J., Arevalo, L., Castilla, C, Cordeiro, D.G., Feigl, B., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Mendes, A., Moukam, A., Murdiyarso, D., Njomgang, R., Parton, W. J., Ricse, A., Rodrigues, V., Sitompul, S. M. et Van Noordwijk, M. (2000). Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative landuses in the Humid

tropics. Final Report, Alternatives to Slash and Burn (ABS). Climate Change Working Group, Phase II. ICRAF, Nairobi, Kenya. 29 p.

Picard N., Crète P., Henry M. (2013). Atelier scientifique régional sur les équations allométriques en Afrique Centrale. Note conceptuelle, Yaoundé, Cameroun, 13 p.

Picard N., Saint-André L., Henry M. (2012). Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres : De la mesure de terrain à la prédiction. 210 p.

Ravindranath N. H., Somashekhar B. S., Gadgil M. (1997). Carbon flow in Indian forests, *submitted to the ministry of environment and forest*. pp. 1-10.

Reyes G, Brown S, Chapman J, Lugo A. E. (1992). Wood densities of tropical tree species. United States Department of Agriculture Forest Service Southern Forest Experimental Station, New Orleans, Louisiana. General Technical Report SO-88 p.

Roy J, Saugier B, Mooney H. A. (2001). Terrestrial global productivity. Academic, San Diego

Saïdou A., Balogoun I., Koné B., Gnanglé C. P. et Aho N. (2012). Système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea mays*) en zone Soudanienne du Bénin, 17 p.

Sallenave P. (1955). Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux de l'union française. Nogent-Sur-Marne (Seine) : Centre Technique Forestier Tropical. 126 p.

Savadogo P. (2007). Dynamics on Sudanian Savanna Woodland Ecosystem in Reponse IU disturbances. Doctoral thesis. 215 p.

Sawadogo L. (2009). Influence des facteurs anthropiques sur la dynamique de la végétation des forêts classées de Laba et de Tiogo en zone soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Ouagadougou. 142 p.

Schroeder P. E., Dixon R. K., et Winjum J. K., (1993). Ordenación forestal y agrosilvicultura para reducir el dióxido de carbono atmosférico. *Unasylva*. 173(44): pp. 52-60.

Sinsin B., Bamba I., Mama A., Neuba D., Koffi J., Traoré D., Visser M., Lejoly J. & Bogaert J., (2008). Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R. D. Congo). *Science & Nature* Vol. 5 N 1 : pp. 49-60.

Sinsin B. (1996). Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, production et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalalé au Nord-Bénin, th. doct. en sciences agronomiques, université libre de Bruxelles, section interfacultaire d'agronomie, 392 p.

Sournia G. (1990). Les aires de conservation en Afrique francophone : aujourd'hui et demain espaces à protéger ou espaces à partager? *Cahier d'Outre-mer*, ..., 1990: Les aires de

conservation en Afrique francophone : aujourd'hui et demain-Espaces à protéger ou espaces à partager ? Cahier d'Outre-Mer, 42 (172)

Toko Mouhamadou I. (2014). Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 231 p.

Toko I. (2008). Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la structure de la végétation le long des toposéquences du bassin supérieur du fleuve Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 241 p.

Vieira S. A., Alves L. F., Aidar M., Araujo L. S., Baker T., Batista J. L. F., Campos M. C., Camargo P. B., Chave J., Delitti W. B. C., Higuchi N., Honorio E., Joly C. A., Keller M., Martinelli L. A., Mattos E. A. de, Metzker T., Phillips O., Santos F. A. M. dos, Shimabukuro M. T., Silveira M. et Trumbore S. E. (2008). Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, **8** (2), pp. 21-29.

Vroh B. T. A, Tiebre M. S. et N'guessan K. E. (2014). Diversité végétale urbaine et estimation du stock de carbone : cas de la commune du Plateau Abidjan, Côte d'Ivoire, *Afrique Science* 10 (3), pp. 329- 340.

Williams M. S., Schreuder H. T. (2000). Guidelines for choosing volume equations in the presence of measurement error in height. *Can J For Res* 30: pp. 306-310.

Winjum, J. K., Dixon, R. K. et Schroeder, P. E. (1992). Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. *Water, Air and Soil Pollution*. 64: pp. 213-227.

Woomer, P. L., Touré, A., Sall M. 2004. Carbon stocks in Senegal `s Sahel Transition Zone. *Journal of Arid Environments* (59) : pp. 499-510

ANNEXES

Forêt galerie

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: B_fg

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	839,035 ^a	2	419,517	14,902	,000
Ordonnée à l'origine	3433,543	1	3433,543	121,962	,000
Models	839,035	2	419,517	14,902	,000
Erreur	591,205	21	28,153		
Total	4863,783	24			
Total corrigé	1430,240	23			

a. R deux = ,587 (R deux ajusté = ,547)

B_fg

	Models	N	Sous-ensemble	
			1	2
Student-Newman-Keuls ^{a,b}	B_AGB	8	3,6001	
	A_Type	8		16,0349
	AGB	8		16,2479
	Sig.		1,000	,937
Test de Tukey ^{a,b}	B_AGB	8	3,6001	
	A_Type	8		16,0349
	AGB	8		16,2479
	Sig.		1,000	,996

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen(Erreur) = 28,153.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 8,000.

b. Alpha = ,05.

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Q

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	22936,140 ^a	9	2548,460	56,745	,000
Ordonnée à l'origine	63609,807	1	63609,807	1416,349	,000
Clas_Diam	22936,140	9	2548,460	56,745	,000
Erreur	3997,090	89	44,911		
Total	87750,111	99			
Total corrigé	26933,230	98			

a. R deux = ,852 (R deux ajusté = ,837)

Q

Scheffe^{a,b,c}

Clas_Diam	N	Sous-ensemble					
		1	2	3	4	5	6
10_20	26	11,0361					
20_30	20	16,6105	16,6105				
40_50	11	22,5703	22,5703				
30_40	17	25,0516	25,0516	25,0516			
50_60	8		32,3226	32,3226	32,3226		
70_80	2			43,2987	43,2987	43,2987	
60_70	8				45,2403	45,2403	
80_90	2				49,1781	49,1781	
90_100	2					61,9291	61,9291
> 100	3						77,0436
Sig.		,410	,240	,084	,155	,070	,295

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen (Erreur) = 44,911.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 4,308.

b. Les tailles des groupes sont inégales. La moyenne harmonique des tailles des groupes est utilisée. Des niveaux d'erreur de type I ne sont pas garantis.

c. Alpha = ,05.

Forêt dense sèche

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: B_fds

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	1185,849 ^a	2	592,924	50,215	,000
Ordonnée à l'origine	5384,644	1	5384,644	456,031	,000
Modèles	1185,849	2	592,924	50,215	,000
Erreur	956,419	81	11,808		
Total	7526,911	84			
Total corrigé	2142,267	83			

a. R deux = ,554 (R deux ajusté = ,543)

B_fds

	Modèles	N	Sous-ensemble	
			1	2
Student-Newman-Keuls ^{a,b}	AGB_B	28	2,6964	
	A_Type	28		10,4914
	AGB	28		10,8314
	Sig.		1,000	,712
Test de Tukey ^{a,b}	AGB_B	28	2,6964	
	A_Type	28		10,4914
	AGB	28		10,8314
	Sig.		1,000	,927

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen(Erreur) = 11,808.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 28,000.

b. Alpha = ,05.

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Q

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	25006,346 ^a	9	2778,483	39,435	,000
Ordonnée à l'origine	86420,977	1	86420,977	1226,561	,000
Clas_Diam	25006,346	9	2778,483	39,435	,000
Erreur	8173,122	116	70,458		
Total	133459,716	126			
Total corrigé	33179,469	125			

a. R deux = ,754 (R deux ajusté = ,735)

Q

Scheffe^{a,b,c}

Clas_Diam	N	Sous-ensemble			
		1	2	3	4
10_20	34	19,0997			
20_30	31	21,8254			
40_50	18	27,7290			
50_60	8	30,6264	30,6264		
30_40	20	31,1796	31,1796		
60_70	7	40,8716	40,8716	40,8716	
80_90	2		54,9285	54,9285	
90_100	2			59,7139	
70_80	2			60,7791	
> 100	2				111,9867
Sig.		,144	,057	,253	1,000

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen(Erreur) = 70,458.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 4,107.

b. Les tailles des groupes sont inégales. La moyenne harmonique des tailles des groupes est utilisée. Des niveaux d'erreur de type I ne sont pas garantis.

c. Alpha = ,05.

Forêt claire et savane boisée

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: B

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	62,210 ^a	2	31,105	2,355	,109
Ordonnée à l'origine	2686,215	1	2686,215	203,381	,000
Modèles	62,210	2	31,105	2,355	,109
Erreur	475,481	36	13,208		
Total	3223,905	39			
Total corrigé	537,690	38			

a. R deux = ,116 (R deux ajusté = ,067)

B

	Modèles	N	Sous-ensemble
			1
Student-Newman-Keuls ^{a,b}	A_Type	13	7,2115
	AGB	13	7,6162
	AGB_B	13	10,0700
	Sig.		,125
Test de Tukey ^{a,b}	A_Type	13	7,2115
	AGB	13	7,6162
	AGB_B	13	10,0700
	Sig.		,125

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen(Erreur) = 13,208.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 13,000.

b. Alpha = ,05.

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Q

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	4501,854 ^a	6	750,309	29,975	,000
Ordonnée à l'origine	20706,719	1	20706,719	827,248	,000
Clas_Diam	4501,854	6	750,309	29,975	,000
Erreur	1927,376	77	25,031		
Total	31318,158	84			
Total corrigé	6429,230	83			

a. R deux = ,700 (R deux ajusté = ,677)

Q

	Clas_Diam	N	Sous-ensemble			
			1	2	3	4
Scheffe ^{a,b,c}	10_20	27	10,3972			
	20_30	30	15,3156	15,3156		
	30_40	13	21,8542	21,8542	21,8542	
	40_50	6		24,8263	24,8263	
	50_60	4			28,7660	28,7660
	60_70	2				37,8947
	70_80	2				40,9029
	Sig.			,082	,247	,641

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen(Erreur) = 25,031.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 4,476.

b. Les tailles des groupes sont inégales. La moyenne harmonique des tailles des groupes est utilisée. Des niveaux d'erreur de type I ne sont pas garantis.

c. Alpha = ,05.

Savane arborée et arbustive

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: B_SaSA

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	231,391 ^a	2	115,696	15,058	,000
Ordonnée à l'origine	1543,034	1	1543,034	200,832	,000
Models	231,391	2	115,696	15,058	,000
Erreur	530,142	69	7,683		
Total	2304,568	72			
Total corrigé	761,534	71			

a. R deux = ,304 (R deux ajusté = ,284)

B_SaSA

	Models	N	Sous-ensemble	
			1	2
Student-Newman-Keuls ^{a,b}	AGB_B	24	2,1029	
	A_Type	24		5,7102
	AGB_M	24		6,0750
	Sig.		1,000	,650
Test de Tukey ^{a,b}	AGB_B	24	2,1029	
	A_Type	24		5,7102
	AGB_M	24		6,0750
	Sig.		1,000	,892

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen(Erreur) = 7,683.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 24,000.

b. Alpha = ,05.

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Q

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	5668,949 ^a	6	944,825	21,716	,000
Ordonnée à l'origine	19962,866	1	19962,866	458,824	,000
Clas_Diam	5668,949	6	944,825	21,716	,000
Erreur	4524,914	104	43,509		
Total	42072,964	111			
Total corrigé	10193,863	110			

a. R deux = ,556 (R deux ajusté = ,531)

Q

Scheffe^{a,b,c}

Clas_Diam	N	Sous-ensemble		
		1	2	3
10_20	49	11,1522		
20_30	28	17,1492	17,1492	
30_40	19	22,2064	22,2064	
40_50	9	23,2834	23,2834	
50_60	2	26,6113	26,6113	
60_70	2		33,1167	
70_80	2			51,7736
Sig.		,094	,074	1,000

Les moyennes des groupes dans des sous-ensembles homogènes sont affichées.

En fonction des moyennes observées.

Le terme d'erreur est Carré moyen(Erreur) = 43,509.

a. Utilise un nombre d'échantillons des moyennes harmoniques = 4,070.

b. Les tailles des groupes sont inégales. La moyenne harmonique des tailles des groupes est utilisée. Des niveaux d'erreur de type I ne sont pas garantis.

c. Alpha = ,05.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de situation géographique de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.....	15
Figure 2 : Diagramme climatique de la station de Savè (1983-2012).....	16
Figure 3 : Carte pédologique du secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.....	17
Figure 4 : Carte hydrogéologique de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.....	19
Figure 5 : Evolution démographique des localités limitrophes au secteur d'étude.....	22
Figure 6 : Répartition spatiale des placeaux au sein des formations végétales de l'Unité d'Aménagement de la Réserve.....	29
Figure 7 : Carte d'occupation des terres de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé.....	35
Figure 8 : Taux de conversion et taux moyen annuel d'expansion spatiale de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé	37
Figure 9 : Intensité des changements par catégories d'occupation des terres entre 2003 et 2013	38
Figure 10 : Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres dans le secteur d'étude entre 2003 et 2013	39
Figure 12 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts galeries	42
Figure 13 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts denses sèches.....	43
Figure 14 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les forêts claires et savanes boisées	44
Figure 15 : Variation de la biomasse aérienne ligneuse moyenne dans les savanes arborées et arbustives.....	45
Figure 16 : Variation de carbone entre les formations végétales	47
Figure 17 : Variation du stock de carbone dans les forêts galeries	48
Figure 18 : Variation du stock de carbone dans les forêts denses sèches	50
Figure 19 : Variation du stock de carbone dans les forêts claires et savanes boisées.....	52
Figure 20 : Variation du stock de carbone dans les savanes arborées et arbustives	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Nombre de placeau installé par catégorie de formation végétale	28
Tableau II : Récapitulatif de quelques modèles de prédiction de la biomasse selon des auteurs	31
Tableau III : Synthèse des modèles utilisés dans le calcul de la biomasse	32
Tableau IV : Matrice de transition des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres entre 2003 et 2013 dans la FCMK	36
Tableau V : Quantité de biomasse dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classé des Monts Kouffé	40
Tableau VI : Quantité de carbone séquestré par les différentes formations végétales.....	46
Tableau VII : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène	49
Tableau VIII : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène.....	51
Tableau IX : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène	53
Tableau X : Regroupement des classes de diamètre en groupe homogène.....	55

TABLES DES MATIERES

SOMMAIRE	2
SIGLES, ABRVIATIONS ET ACRONYMES	3
DEDICACE.....	4
REMERCIEMENTS	5
RESUME.....	6
ABSTRACT	7
INTRODUCTION.....	8
CHAPITRE I : CARDRE THEORIQUE.....	10
1.1 Problématique.....	10
1.2 Objectif global.....	12
1.3 Objectifs spécifiques	12
1.4 Hypothèses de recherche	12
1.5 Clarification des concepts	13
CHAPITRE II : CARDRE D'ETUDE	14
2.1 Situation géographique.....	14
2.2 Milieu biophysique.....	16
2.2.1 Bilan climatique	16
2.2.2 Températures	17
2.2.3 Pédologie	17
2.2.4 Géomorphologie et hydrogéologie.....	18
2.3 Caractéristiques socioéconomiques.....	22
2.3.1 Evolution démographique	22
2.3.2 Agriculture	22
2.3.3 Elevage	22
2.3.4 Exploitation forestière	23
2.3.5 Chasse.....	23

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES	24
3.1 Cartographie du couvert forestier du secteur de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé entre 2003 et 2013	24
3.1.1 Données planimétriques	24
3.1.2 Traitement des données planimétriques	24
3.2 Estimation de la biomasse aérienne ligneuse de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé	28
3.2.1 Matériel de collecte des données	28
3.2.2 Matériel d'étude	28
3.2.3 Méthode de collecte des données	28
3.2.4 Méthode de traitement des données	30
3.3 Evaluation du stock de carbone séquestré par les formations végétales de l'Unité d'Aménagement de la Réserve dans la forêt classée des Monts Kouffé.....	33
CHAPITRE IV : RESULTATS	34
4.1 Cartographie du couvert forestier de l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classée des Monts Kouffé entre 2003 et 2013	34
4.1.1 Taux moyen annuel d'expansion spatiale et taux de conversion des unités d'occupation des terres dans l'unité d'aménagement de la réserve de la Forêt classée des Monts Kouffé de 2003 à 2013	37
4.1.2 Intensité des changements par catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013	38
4.1.3 Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013	39
4.2 Estimation de la variation de la biomasse aérienne ligneuse	40
4.2.1 Quantification de la biomasse aérienne ligneuse dans l'Unité d'Aménagement de la Réserve de la forêt classé des Monts Kouffé	40
4.2.3 Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les formations végétales selon les modèles de Chave <i>et al.</i> (2005) et de Brown (1997).....	41

4.3 Evaluation du stock de carbone séquestré par l'Unité d'Aménagement de la Réserve dans la forêt classée des Monts Kouffé	46
4.3.1 Variation du stock de carbone entre les formations végétales	46
4.3.2 Variation du stock de carbone dans les formations végétales	48
CHAPITRE V : DISCUSSION	56
5.1 Cartographie de la dynamique du couvert forestier entre 2003 et 2013	56
5.2 Estimation de la quantité de la biomasse aérienne ligneuse.....	57
4.3 Evaluation du stock de carbone séquestré.....	58
CONCLUSION	60
PERSPECTIVE POUR LA THESE	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
ANNEXES	71
LISTE DES FIGURES	79
LISTE DES TABLEAUX	80
TABLES DES MATIERES	81