



HAL
open science

ESTIMATION DU POTENTIEL DE SEQUESTRATION DU CARBONE A L'AIDE DES MODELES D'EQUATIONS ALLOMETRIQUES MULTI-ESPECES : APPLICATION AUX PHYTOCENOSSES DE LA GUINEE FORESTIERE

Amadou Lamarana Bah

► **To cite this version:**

Amadou Lamarana Bah. ESTIMATION DU POTENTIEL DE SEQUESTRATION DU CARBONE A L'AIDE DES MODELES D'EQUATIONS ALLOMETRIQUES MULTI-ESPECES : APPLICATION AUX PHYTOCENOSSES DE LA GUINEE FORESTIERE. Sciences de l'environnement. Université Gamal Abdel Nasser de Conakry (Guinée), 2021. Français. NNT : . tel-03666195

HAL Id: tel-03666195

<https://hal.science/tel-03666195>

Submitted on 12 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

REPUBLIQUE DE GUINEE

Travail - Justice – Solidarité

UNIVERSITE GAMAL ABDEL NASSER DE CONAKRY



ECOLE DOCTORALE EN SCIENCES ET TECHNIQUES

LABORATOIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE EN ENERGETIQUE
APPLIQUEE (LEREA)



GROUPE DE FORMATION DOCTORALE EN

« SYSTEMES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENT »

Thèse de Doctorat Unique (PhD)

Pour l'obtention du Grade de Docteur ès Sciences Physiques

Option : Energie-Environnement

**ESTIMATION DU POTENTIEL DE SEQUESTRATION DU CARBONE A L'AIDE DES
MODELES D'EQUATIONS ALLOMETRIQUES MULTI-ESPECES :
APPLICATION AUX PHYTOCENOSSES DE LA GUINEE FORESTIERE**

Présentée et soutenue par Amadou Lamarana BAH

Le 16 Octobre 2021

N°.....

DIRECTEUR DE THESE : Pr. Idrissa DIABY, LEREA-UGANC

CO-DIRECTEUR DE THESE : Pr. Zoumana BAMBA, CERESCOR-MESRS

UNIVERSITE GAMAL ABDEL NASSER DE CONAKRY



ECOLE DOCTORALE EN SCIENCES ET TECHNIQUES

**LABORATOIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE EN ENERGETIQUE
APPLIQUEE (LEREA)**



GROUPE DE FORMATION DOCTORALE EN

« SYSTEMES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENT »

Thèse de Doctorat Unique (PhD)

Pour l'obtention du Grade de Docteur ès Sciences Physiques

Option : Energie-Environnement



Composition du jury de soutenance

Selly CAMARA	Professeur Titulaire des Universités - MESRS	Président
Alpha Issaga Pallé DIALLO	Professeur Titulaire des Universités - CERE	Rapporteur
Mawiatou BAH	Professeur Titulaire des Universités – LEREA/UGANC	Examineur
Mamby KEITA	Professeur Titulaire des Universités – LEREA/UGANC	Examineur
Idrissa DIABY	Professeur Titulaire des Universités – LEREA/UGANC	Directeur de thèse
Zoumana BAMBA	Professeur Titulaire des Universités - CERESCOR-MESRS	Co-Directeur de thèse

DEDICACE

Je dédie ce travail à la mémoire de ma grande sœur aînée Feue **Djenabou BAH**, que la Terre te soit légère et qu'**ALLAH** t'accueille dans son Paradis

A la mémoire de mon Frère, feu **Abdoulaye SYLLA**, la personne qui m'a appris à aller au-delà de ce que je pensais être limité et qui nous a quitté à la fleur de l'âge, qu'**ALLAH** dans sa miséricorde lui ouvre les portes du Paradis.

A la mémoire de feu **Hawa Pèrèdjo BARRY**, une mère qui nous a toujours donné le peu qu'elle disposait et qui a consenti de multiples sacrifices en ma faveur depuis ma tendre enfance jusqu'aujourd'hui.

A ma chère et tendre mère **Aïssatou BAH**, symbole de douceur, de tendresse et d'affection. Grâce aux sacrifices immenses qu'elle a consenti au sens du devoir et les valeurs qu'elle m'a inculquées, je suis arrivé à bout. J'espère qu'elle trouvera dans ce document toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mes amours, je veux nommer ma tendre épouse **Oumou DIAOUNE**, mes enfants **Hawa BAH et Mamadou BAH** et mes frères et sœurs pour tout le soutien moral qu'ils m'ont apporté durant cette épreuve.

A tous mes amis et camarades de promotion pour toute la franche collaboration qui a caractérisé nos moments de partage.

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AGB	Above Ground Biomasse (Biomasse au-dessus du sol ou aérienne)
AFOLU	Agriculture, Forestry And Other Land Use (Agriculture, foresterie et autres usages du sol)
CERE	Centre d'Etude et de Recherche en Environnement
CERESCOR	Centre de Recherche Scientifique de Conakry Rogbane
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
COP 13	13 ^e Conférence des Parties
CO₂	Dioxyde de Carbone
tCO₂éq	Tonne équivalent Dioxyde de Carbone
COMIFAC	Commission des Forêts d'Afrique Centrale
DNEF	Direction Nationale Eaux et Forêts
DNM	Direction Nationale de la Météorologie
PROGERFOR	Projet de Gestion des Ressources Forestières
PGRR	Projet de Gestion des Ressources Rurales
ESP	Ecole Supérieur Polytechnique
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GF	Guinée Forestière
GtC	Giga tonne Carbone
GFD	Groupe de Formation Doctorale
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'Expert Intergouvernemental sur L'Evolution du Climat
EDST	Ecole Doctorale en Sciences et Techniques
ISSEG	Institut Supérieur des Sciences de l'Education
LEA	Laboratoire en Énergétique Appliquée
LPAOSF	Laboratoire de physique de l'Atmosphère et de l'Océan Siméon Fongan
LERTI	Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Techniques Industrielles
MDP	Mécanisme de Développment Propre.
MESRS	Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
MEEF	Ministère de l'Environnement et des Eaux et Forêts
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
DNEF	Direction Nationale des Eaux et Forêts
NDVI	Normalized Difference Végétation Index
NERF	Niveau d'Emission de Reference des Forêts
LEREA	Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Énergétique Appliquée
ONU-REDD	Programme de Collaboration des Nations Unies sur la Réduction des Emissions liées au Déboisement et à la Dégradation des Forêts dans les Pays en Développement
PNUD	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PAB	Plan d'Action de Bali
SCNCCNUCC	Première Communication Nationale a la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques sur la Guinée
REDD+	Réduction des Emissions dues à la Dégradation des forêts + Conservation des stocks de carbone forestier
UGANC	Université Gamal Abdel Nasser de Conakry
UAC	Université d'Abomey Calavi
UNC	Université Nongo Conakry
UZ	Université de N'Zérékoré
SEE	Systèmes Energétiques et Environnement
SCNCCNUCC	Seconde Communication Nationale a la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques sur la Guinée
SNDD	Strategie National du Developpement Durable
SNCC	Stratégie Nationale sur le Changement Climatique

RESUME

La République de Guinée dispose d'un grand bloc de forêt humide tropicale et possède un potentiel d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) élevé. Une connaissance de la quantité et de la distribution du carbone dans ces forêts permettra de faire le suivi des émissions de CO₂ associées à la déforestation et la dégradation. De nos jours, il est évident que le carbone est au cœur des discussions internationales sur l'effet de serre et le changement climatique. La forêt assure ainsi un rôle primordial en captant les composés atmosphériques contenant du carbone ou en libérant le dioxyde de carbone par respiration suite à la décomposition et par combustion. Cela fait d'elle le principal réservoir terrestre de carbone susceptible, selon le cas, de se comporter en puits ou en source. La présente recherche est effectuée dans les forêts classées de la Guinée Forestière. L'objectif visé d'une part est de tester et d'évaluer la validité des équations allométriques pantropicales et d'autre part de développer des équations allométriques locales suivi enfin d'une analyse comparative des méthodes d'inventaire forestier et de Télédétection. La méthodologie utilisée pour la quantification de la teneur en carbone superficiel et le potentiel de séquestration à l'échelle de la zone d'étude a été structurée autour de deux étapes combinant l'utilisation de deux techniques : (i) l'inventaire in situ pour mesurer les volumes de la biomasse et des stocks de carbone dans des placettes réparties sur les différentes régions bioclimatiques de la Guinée Forestière (ii) les résultats utilisant les indices de végétations moyen (NDVI) et les imageries satellitaire sur une période de 30 ans (1990-2019). Le traitement et l'analyse ont permis obtenir les résultats suivants: la surface des forêts primaires demeure constante à 52% soit 65742,46 ha ; la surface des forêts secondaires s'amenuise de 25% en 1990 et 18% en 2019 soit une perte nette de 7% (19000,70 ha) qui correspond à une déforestation de 633,33 ha par an, les forêts galeries ont subi une diminution de 5% en 1990 et de 3 % en 2019 soit une perte de 2%, les formations arbustives de transition ont connu une dégradation de 9% en 1990 et 5 % en 2019 soit une perte de 4 %, tandis que les autres surfaces constituées des nappes d'eau, de tissus urbains, des champs de culture, des mines et carrières ont progressé de 9% en 1990 à 23 % en 2019 soit une augmentation de 14% qui correspond à 38 468,14 ha, qui met en évidence une hausse des superficies occupées à environ 1 282,27 ha par an. Le test de validité des équations allométriques pantropicales dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba a permis d'obtenir les résultats qui suivent : 19,57 tC/ha pour l'équation de Chave et al. 2005 ; 13,36 tC/ha, pour l'équation d'Ebuyi et al (2011). Par ailleurs, il est à souligner que l'équation de Chave estime plus le stock de carbone dans cette forêt. Dans le cadre de l'établissement du NERF, des données ont été collectées dans la forêt classée de Zياما sur quatre (4) zones : Boo, Massadou, Sérédou et Zoboroma ; un gradient de biomasse par essence est estimé comme suit : *Funtumia elastica* (114t/ha), *Uapaca guinéensis* (200 114t/ha), *Celtis mildbraedii* (130 114t/ha), *Piptadeniastrum africanum* (302 114t/ha), *Bosqueia angolensis* (148 114t/ha), *Funtumia elastic* (122 114t/ha). Les émissions de CO₂ ont suivi une tendance croissante durant la période 2010-2018. Elles ont totalisé 175,89 teCO₂ en 2010 tout évoluant sans interruption pour atteindre 571,33 teCO₂ en 2018. Ainsi, le NERF dans la forêt classée de Zياما est de 146,69 teCO₂/an en moyenne. En ce qui concerne le développement de notre modèle d'équation allométrique pour la région forestière de la Guinée, les critères de sélection et de validité des modèles sont basés sur les tests de normalité, de nullité, d'hétérogénéité et d'autocorrélation des résidus. Ensuite, nous avons effectué, l'analyse des erreurs résiduelles, des erreurs résiduelles standard (RSE) et le critère d'information d'Akaike (AIC). Parmi les dix (10) modèles développés, six (6) tiennent compte du diamètre et la densité. Les modèles avec un AIC de 30,71 et un RSE de 0,2989 sont les plus cohérentes. Par contre quatre équations tenant compte du diamètre, de la hauteur et la densité ont été élaborées, parmi lesquelles le modèle (A1) est le plus précis, avec un AIC de 16,91 et un RSE de 0,26. L'équation (A2) a une erreur résiduelle égale à 0,044 soit 4,43% et un AIC plus faible par rapport à l'équation (A1) qui a une erreur résiduelle élevée en même temps que l'AIC. Ce qui les disqualifie de la sélection. C'est ainsi le modèle sous forme de puissance est le plus explicatif de la biomasse aérienne en Guinée Forestière. Ces résultats obtenus devraient doter à la Guinée et les pays ayant les mêmes types d'écosystèmes ; des arguments sur la capacité de leur végétation ligneuse à absorber le carbone atmosphérique et permettre ainsi de développer les fondements d'une contribution positive visant à améliorer l'état de l'atmosphère par des activités de renouvellement du couvert végétal tout en inscrivant de telles activités dans le sens d'un profit durable pour les populations locales.

Mots clés : biomasses, séquestration, puits de carbone, équation allométrique, inventaire forestier, stock de carbone, télédétection.

ABSTRACT

The Republic of Guinea has a large block of tropical rainforest and has a high carbon dioxide (CO₂) emission potential. Knowledge of the quantity and distribution of carbon in these forests will allow monitoring of CO₂ emissions associated with deforestation and degradation. Nowadays, it is obvious that carbon is at the heart of international discussions on the greenhouse effect and climate change. The forest thus plays an essential role by capturing atmospheric compounds containing carbon or by releasing carbon dioxide by respiration, decomposition and combustion. This makes it the main terrestrial reservoir of carbon capable of acting as a sink or a source, as the case may be. The present research is carried out in the classified forests of Forest Guinea. The objective is on the one hand to test and evaluate the validity of pantropical allometric equations and on the other hand to develop local allometric equations followed finally by a comparative analysis of forest inventory and remote sensing methods. The methodology used for the quantification of the surface carbon content and the sequestration potential at the scale of the study area was structured around two stages combining the use of two techniques: (i) the in situ inventory to measure the volumes of biomass and carbon stocks in plots distributed over the different bioclimatic regions of Forest Guinea (ii) extrapolation of the results using an average vegetation index (NDVI) and satellite imagery on a period of 30 years (1990-2019). The treatment and analysis enabled the following results to be obtained: the areas of primary forests remain constant at 52%, ie 65,742.46 ha; the surface areas of Secondary Forests are declining from 25% (1990) to 18% (2019) i.e. a net loss of 7% around 19,000.70 ha which corresponds to deforestation of 633.33 ha per year, gallery forests have experienced a decrease from 5% (1990) to 3% (2019), i.e. a loss of 2%, the transitional shrub formations experienced a degradation from 9% (1990) to 5% (2019), i.e. a loss of 4%, while those other surfaces made up of water tables, urban fabric, crop fields, mines and quarries increased from 9% (1990) to 23% (2019), i.e. an increase of 14% which corresponds to 38,468.14 ha, which shows an increase in occupied areas to about 1,282.27 ha per year. The validity test of pantropical allometric equations in the Mount Nimba Biosphere Reserve. Provided the following results: 19.57 tC / ha for the equation of Chave et al. 2005; 13.36 tC / ha, for the equation of Ebuyi et al (2011). Also, it should be noted that the Chave equation stores more carbon in this forest. As part of the establishment of the NERF, data was collected in the classified forest of Ziama in four (4) zones: Boo, Massadou, Sérédou and Zoboroma; a biomass gradient by species is estimated as follows: *Funtumia elastica* (114t / ha), *Uapaca guinéensis* (200,114t / ha), *Celtis mildbraedii* (130,114t / ha), *Piptadeniastrum africanum* (302,114t / ha), *Bosqueia angolensis* (148 114t / ha), *Funtumia elastic* (122 114t / ha). CO₂ emissions followed an increasing trend during the period 2010-2018. They totaled 175.89 tCO₂ in 2010 and evolved continuously to reach 571.33 tCO₂ in 2018. Thus, the FREL in the classified forest of Ziama is 146.69 tCO₂ / year on average. Regarding the development of our allometric equation model for the forest region of Guinea, the selection and validity criteria of the models are based on the tests of normality, nullity, heterogeneity and autocorrelation of the residuals. . Then we performed the analysis of residual errors, residual standard errors (RSE) and the Akaike information criterion (AIC). Among the ten (10) models developed, six (6) equations take into account the diameter and density. Models with an AIC of 30.71 and an RSE of 0.2989 are the most consistent. On the other hand, four equations taking into account the diameter, the height and the density were developed, among which the model ($\Delta 1$) is the most precise, with an AIC of 16.91 and an ESR of 0.26. Equation ($\Delta 1$) has a residual error equal to 0.044 or 4.43% and a lower AIC compared to equation ($\Delta 2$) which has a high residual error at the same time as the AIC. What disqualifies them from the selection. This is the model in the form of power that is the most explanatory of the above-ground biomass of the species *Trichilia Septentrionalis* in Forest Guinea. These results obtained should endow Guinea and the countries with similar types of ecosystems with arguments on the capacities of woody vegetation to absorb atmospheric carbon and thus allow the development of the foundations of a positive contribution aimed at improving the environment. 'state of the atmosphere through activities to renew the plant cover while registering such activities in the direction of sustainable profit for local populations.

Keywords: biomass, sequestration, carbon sink, allometric equation, forest inventory, carbon stock, remote sensing.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	i
LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
REMERCIEMENTS	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE. I – FORÊTS, CYCLE ET MECANISME DE SEQUESTRATION DU CARBONE	8
1.1 - Répartition des forêts dans le monde	8
1.1.1-Les Forêts d’Afrique.....	11
1.1.2- Forêts classées de la République de Guinée.....	16
1.2 - Le cycle global du carbone	19
1.4- Réservoirs de carbone	21
1.5- Les puits de carbone	22
1.5.1- Puits naturels.....	24
1.6 - UN-REDD Programme	24
1.7 - Mécanisme REED/REED+	25
1.8-Neutralité carbone	26
1.9-Stratégie Nationale du Développement Durable de la République de Guinée	27
1.10-Stratégie Nationale sur le Changement Climatique en République de Guinée	29
1.11 Stratégie nationale sur la diversité biologique 2016 - 2025 pour la mise en œuvre des objectifs d’AICHI en Guinée	31
CHAPITRE II - ETAT DES LIEUX DES EQUATIONS ALLOMETRIQUES	35
2.1- La biomasse	35
2.2- Croissance des arbres au sein du peuplement	35
2.3 - Répartition de la biomasse dans l’arbre	35
2.4- Principes de base de l’estimation de la biomasse	36
2.5 - Généralités sur les équations allométriques	37
2.6 - Modélisation de la biomasse forestière	38
2.7- Les types d’équations allométriques	38
2.7.1- Equations mono-espèces ou spécifiques à un genre.....	38
2.7.2 - Equations multi-espèces locales établies dans un site donné.....	38
2.7.3 - Equations multi-espèces régionales.....	38
2.7.4 - Equations allométriques pour les forêts en Afrique.....	38
2.8- Les équations allométriques pantropicales	40

2.10 - Les Indices de Végétation (IV)	45
2.11 - Les capteurs de Télédétection	46
CHAPITRE III - OUTILS ET METHODES	50
3.1 - Outils de mesure des paramètres biophysiques des essences forestières	50
3.2 - Mesures de la hauteur.....	51
3.4 - Dendrométrie.....	52
3.5 - Mesure du diamètre	56
3.6 - Mesure de la circonférence.....	59
3.7 - Présentation de la zone d'études.....	59
3.7.1 - Aspect physique	59
3.7.2 – Aspect climatique	60
3.7.3 – Végétation	63
3.7.3 – Les forêts denses	64
3.7.4 – Hydrographie.....	65
3.8 - Données	66
3.8.1 - Le protocole de collecte des données.....	67
3.8.2 - Mesures dendrométriques.....	67
3.8.3 - Collecte des données	67
3.8.4 Les outils de traitement.....	68
3.9 – Méthodologies	69
CHAPITRE IV - DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA BIOMASSE	72
LIGNEUSE DE LA GUINEE FORESTIERE.....	72
4.1- Distribution du couvert végétal de la Guinée Forestière en 1990	72
4.2 - Distribution du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2000	75
4.3- Distribution du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2019	77
4.4- Distribution du gradient de la Biomasse en Guinée Forestière	79
4.5- Distribution du niveau de séquestration du carbone en Guinée Forestière.....	81
CHAPITRE V – PRESENTATION DES RESULTATS, ANALYSES ET	83
DISCUSSIONS	83
5.1-Test de validité des équations allométriques pantropicales de Chave et locale de Ebuye (RDC) dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba (Ziéla-Lola).....	83
5.1.1- Classification de l'échantillon en fonction des classes de diamètres dans la Reserve	83
de la Biosphère du Mont Nimba (Ziéla-Lola).....	83
5.1.2- Estimation de la biomasse en fonction des classes de diamètres	84
5.1.3- Variation de stock de carbone en fonction des classes de diamètre.....	84
5.1.4 - Analyse comparative des modèles en fonction des sites.....	86

CONCLUSION PARTIELLE 1	87
5.2 - Mesures du Niveau de Reference des Emissions des Forêts (NERF) dans la Forêt	87
Classée de Ziama-Macenta	87
5.2.1 - Evaluation de la biomasse brute en fonction des essences forestières dans la Forêt classée de Ziama-Macenta	88
5.2.2 - Détermination des niveaux d'émissions	89
CONCLUSION PARTIELLE 2	94
5.3 - Essai de développement d'équations allométriques multi-espèces pour la quantification du stock de carbone de quelques essences de la Guinée Forestière	95
5.3.1- Mesures dendrométriques	95
5.3.2- Développement des modèles allométriques par analyse des données	96
5.3.3 - Discussion des résultats de prédiction et d'ajustement	98
5.3.4 - Sélection des équations allométriques	99
CONCLUSION PARTIELLE 3	99
5.4 - Évaluation et suivi de la biomasse aérienne végétale ligneuse des forêts classées de la Guinée Forestière sur la base d'imagerie satellitaire (données).	100
CONCLUSION PARTIELLE 4	102
CONCLUSION GENERALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	104
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	108
ANNEXES	122

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1 -Superficie forestière par région du monde	9
Tableau 1. 2 -Variation de la superficie des forêts dans le monde.....	10
Tableau 1. 3 -Nombres et superficies des forêts classées de la Guinée par région naturelle	18
Tableau 2. 1 - Synthèse des modèles d'équations allométriques multi-espèces locales disponibles pour estimer la biomasse totale aérienne(B) en kg ; n la taille de l'échantillon ; D le diamètre en cm ; H la hauteur totale en m ; ρ la densité du bois en $g.cm^{-3}$	39
Tableau 2. 2 - Présentation de quelques modèles de régressions allométriques classiques (Quentin MOUNDOUNGA M, 2015).....	40
Tableau 2. 4 - Indices de végétation (IV) (J. MOREL et al 2009)	45
Tableau 2. 5 - Caractéristiques de quelques satellites de Télédétection.....	46
Tableau 2. 6 - Estimation de la biomasse aérienne total pour les différents types de forêts tropicales africaines par Télédétection (Ioubota Panzou G.J Doucet J.L et al, 2016).....	48
Tableau 3. 1 - Nombre et superficie des forêts classées de l'État disposant d'un plan d'aménagement en GF.....	63
Tableau 3. 2 - Caractéristique physique des bassins fluviaux de GF	66
Tableau 3. 3 - Différentes méthodes d'évaluation du niveau de la biomasse	70
Tableau 5. 1 -Modèles d'équations allométriques multi-espèces disponibles pour l'estimation de la biomasse totale (B) en kg	85
Tableau 5. 2 -Analyse comparative des stocks de carbone en fonction des modèles allométriques.	86
Tableau 5. 3 -Evaluation du NERF par Zone de 2010 - 2018.....	89
Tableau 5. 4 -Répartition du poids moyenne de la biomasse dans l'arbre	96
Tableau 5. 5 -Modèles d'équations allométriques développer par régression pour la biomasse sèche. 97	
Tableau 5. 6 -Estimation de la Biomasse aérienne et du stock de carbone total à partir des données MODIS GLC 2000 dans les Forêts Classées de la Guinée forestière.	101
Tableau 5. 7 -Analyse comparative des méthodes d'estimation de la biomasse et du niveau séquestration.....	103

LISTE DES FIGURES

Figure.1 1- Répartition mondiale des forêts (Source FAO 2006).	8
Figure.1 2- Variation spatio-temporelle des superficies forestières du monde	11
Figure.1 3- Vue générale des forêts de zone intertropicale de l’Afrique.....	11
Figure.1 4- Couverture forestière du Bassin de Congo et pertes de couvert végétal entre 2000 et 2012 d’après les données de MODIS Land Cover Type product – MCD12Q1 Source : Hansen et al. (2013).	13
Figure.1 5- Répartition des stocks de biomasse des principaux types de forêts du Bassin de Congo Source : Saatchi et al. (2011).....	15
Figure.1 6- Les types d’occupation du sol de la région Afrique de l’Ouest.....	15
Figure.1 7- Schéma du cycle de carbone.....	20
Figure.1 8- Processus de fabrication de la matière organique par l’arbre	22
Figure.1 9- Mécanisme d’échange des puits de carbone	23
Figure 2. 1- Répartition de la biomasse au niveau de l’arbre	36
Figure 2. 2 - Zones d’échantillonnages du premier modèle d’équations allométriques pantropicale ..	41
Figure 2. 3 - Zones d’échantillonnages du second modèle d’équations allométriques Pantropicale ...	43
Figure 2. 4 - Suivis de la couverture et de dégradation forestière par observation satellite sous PIR..	44
Figure 2. 5 - Principe de la télédétection.....	44
Figure 3. 1 - Principe de la croix du bûcheron	51
Figure 3. 2 - Utilisation de perche de référence pour la mesure de hauteur	52
Figure3.3- Principe de la mesure de la hauteur au moyen d’un dendromètre trigonométrique	54
Figure 3. 4 - Dendromètre BLUME-LEISS	54
Figure 3. 5 - Dendromètre SUUNTO	55
Figure 3. 6 - Vertex et transpondeur.....	56
Figure 3. 7- Compas forestier classique	57
Figure 3. 8 - Compas forestier digital.....	57
Figure 3. 9 - Compas parabolique finlandais.....	58
Figure 3. 10 - Pentaprisme de Wheeler couplé à un clinomètre.....	58
Figure 3. 11- Carte de localisation du relief de la GF	60
Figure 3. 12 - Les isohyètes pluviométriques de la Guinée Forestier	61
Figure 3. 13 - Variation journalière de la température en GF	61
Figure 3. 14 - Variation mensuelle de la pluviométrie en GF	62
Figure 3. 15 - Variation journalière de l’enseillement en GF.....	62
Figure 3. 16 - Carte de localisation des forêts classées GF	64
Figure 3. 17 - Carte de la végétation de la Guinée Forestière	65
Figure 3. 18 - Schéma méthodologique de la validité des équations allométriques.....	71
Figure 3. 19 - Schéma synoptique de la méthodologie de la recherche par télédétection	71
Figure 4. 1- Cartographie du couvert végétal de la Guinée Forestière en 1990	73
Figure 4. 2 - Répartition spatio-temporelle du couvert végétal de la Guinée Forestière en 1990	74
Figure 4. 3 - Cartographie du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2000	75
Figure 4. 4 - Répartition spatio-temporelle du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2000	76
Figure 4. 5 - Cartographie du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2019	77
Figure 4. 6- Répartition spatio-temporelle du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2019	78
Figure 4. 7 - Répartition spatio-temporelle du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2019	79
Figure 4. 8- Répartition spatio-temporelle du niveau de séquestration du carbone de la biomasse ligneuse en GF.....	81
Figure 5. 1 - Classification des diamètres de l’échantillon.....	83
Figure 5. 2 - Estimation de la Biomasse en fonction des classes de diamètres avec les deux.....	84
Figure 5. 3 - Variation de stock de carbone en fonction des classes de diamètre.....	85
Figure 5. 4- Analyse comparative des stocks de carbone en fonction des modèles	86
Figure 5. 7- Estimation des émissions dans la forêt classée de Ziama en 2010	89

Figure 5. 8 - Estimation des émissions dans la forêt classée de Ziama en 2012	90
Figure 5. 9 - Estimation des émissions dans la forêt classée de Ziama en 2014	90
Figure 5. 10 - Estimation des émissions dans la forêt classée de Ziama en 2016	91
Figure 5. 11 -Estimation des émission dans la forêt classée de Ziama en 2018.....	91
Figure 5. 12 -Taux de séquestration du carbone de 2010 - 2018 dans la forêt classée de Ziama.....	92
Figure 5. 13 - Niveau d'émission de Reference global	92
Figure 5. 14 - Classification de l'espèce <i>Trichilia Septentrionalis</i> en fonction des zones	95

AVANT-PROPOS

Depuis des millénaires, le climat de la Terre varie selon les époques et les lieux. Les changements observés s'étalent généralement sur de longues périodes qui atténuent la perception que l'homme peut en avoir à un moment donné. Cependant, au cours des dernières décennies les changements climatiques se sont accélérés. Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que le public s'interroge sur la réalité de ces changements, leurs causes, leur devenir et de leurs conséquences immédiates et lointaines sur les modes de vie, la santé, les écosystèmes et l'économie (Fund, 2015).

Les préoccupations liées aux niveaux des émissions globales de gaz à effet de serre entre 2025 et 2030 sont estimées sur la base des contributions prévues au niveau National (CPN). Néanmoins, les résultats obtenus ne sont pas compatibles avec des scénarios au moindre coût prévoyant une hausse de la température de 2 °C. De toute évidence, les émissions globales de gaz à effet de serre se traduisent par un niveau prévisible d'émissions de 55 gigatonnes en 2030. Ainsi, des efforts de réduction des émissions beaucoup plus importants seront nécessaires en ramenant les émissions en dessous de 40 gigatonnes.

Les forêts sont des formidables alliés contre le changement climatique. Elles absorbent le dioxyde de carbone et diminuent sa quantité dans l'atmosphère. Selon une étude publiée dans la revue américaine « Sciences », l'équilibre que ces forêts maintiennent entre CO₂ absorbé et CO₂ émis est aujourd'hui menacé à cause de la déforestation massive des régions tropicales. Ce qui explique de nos jours que les forêts libèrent davantage de dioxyde de carbone qu'elles n'en capturent (report, 2014) .

Cette analyse s'appuie sur les résultats issus de l'analyse des images de satellites, des technologies laser et des données sur le terrain entre 2003 et 2014. Ces données ont ainsi permis aux scientifiques de se concentrer sur des aspects de la déforestation jusqu'alors peu analysés comme la « dégradation forestière » - disparition à petite échelle des arbres.

Le mécanisme « REDD + (Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation forestière) » est un mécanisme créé à France, le 4 mai 2012 lors de la Conférence des Parties UNFCCC pour inciter économiquement les grands pays forestiers tropicaux à éviter la déforestation et la dégradation des forêts (Caroline Prak, 2017)

Dans ce cadre, une valeur financière est attribuée au carbone stocké dans les forêts, offrant une incitation économique pour les pays en développement afin qu'ils diminuent la

déforestation et investissent dans des alternatives plus sobres en carbone pour un développement durable.

Le programme "REDD+" va au-delà de la déforestation et de la dégradation des forêts uniquement, et inclut la gestion durable et la conservation des forêts ainsi que le renforcement des stocks de carbone liés à la forêt.

Ce travail de recherche a été mené à la Station Scientifique du Mont Nimba (Ziela-Lola), au Centre Forestier de N'Zérékoré, au Centre de Recherche Agronomique de Guinée de Sérédou (Macenta), au Jardin Botanique de la Direction Nationale des Eaux et Forêts de Guinée et au Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Énergétique Appliquée (**LEREA**) de l'Université Gamal Abdel Nasser de Conakry.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de recherche, j'exprime ma profonde reconnaissance au Pr. Idrissa DIABY Directeur du LEREA, mon tuteur pédagogique, qui m'a recruté, initié à la recherche et suivi jusqu'à l'aboutissement de ce travail et également pour son soutien moral, matériel inestimables pour mon encadrement. Toute ma gratitude à l'endroit de Pr. Zoumana BAMBA pour toutes ses contributions scientifiques pertinentes.

Je tiens à remercier sincèrement les membres du Groupe de Formation Doctorale « Systèmes Energétiques et Environnement (GFD-SEE) » en particulier Pr. Mamby KEITA Secrétaire Scientifique du GFD-SEE et Directeur Général Adjoint de l'Enseignement Supérieur au MESRS, Pr. Bobo SOW Recteur de l'UNC et Pr. Mawiatou BAH Responsable de la *SCAE* du GFD-SEE pour leurs critiques, suggestions constructives et pour avoir souvent trouvé au bon moment les mots d'encouragement à mon endroit.

Mes remerciements s'adressent aussi au Rectorat de l'Université Gamal Abdel Nasser de Conakry avec à sa tête Monsieur le Recteur Pr. Doussou Lanciné TRAORE, Pr. Cheick Abdoul BALDE Vice-recteur chargé des Etudes, Dr. Mariama BEAVOGUI Vice-rectrice chargée de la Recherche et Dr. Oumou KOUROUMA Secrétaire Générale

Je remercie également Monsieur le Pr. Alexandre Lucien RICHARD, Directeur de l'Ecole Doctorale en Sciences et Techniques, pour sa contribution scientifique dans ce travail.

Que Monsieur le Doyen de la Faculté des Sciences, Pr. Tamba MANSARE et les membres du Décanat dont les Vice-Doyens Pr. Ousmane BARRY, Pr. Lipoli-pé KOLIE, Secrétaire de Faculté, Chef de Département de Physique et le Directeur du Programme de Licence Physique Elhadj. Abdoul Gadiri BALDE trouvent ici toute ma reconnaissance.

Pour leurs sages conseils et leurs contributions inestimables à la réussite de ce travail tenus par les Professeurs Adeline FAYOLLE de l'Université de Liège - Belgique, Dorthé AZILINON et Daouda BADIANE respectivement du *LEA*, *LPAOSF de l'ESP-UCAD* du Sénégal, Antoine VIANOU du *LERTI* de l'*UAC* du Benin, Moussa Diabaté de l'IRAG de Sérédou, Tokpo Ninamou de la Station Scientifique du Mont Nimba, Bahain KOIVOGUI du Centre Forestier de Nzérékoré.

Mes sincères remerciements vont respectivement à l'endroit des Enseignants-chercheurs de l'UGANC et des autres Institutions partenaires en particulier à Elhadj Mamadou Saidou DIALLO, Pr. Mamadou Lamarana BALDE, Dr. Ibrahima SACKO, Elhadj Mamadou Bobo BARRY, Mr. Siba HABA, Mr. Abdoulaye CONTE, Mr. Thierno Abdoulaye DIALLO, Mr

Tidiane Alpha CAMARA, Dr Simon Pierre LAMAH de l'UZ, Mr Abdoul Hagghi TALL, Mr. Aboubacar GANDEKA, Dr. Mamadou Maladho BARRY de l'IP, Dr Tamba Nicolas MILLIMONO de ISSEG, Mr. Ibrahima Kallil KANTE de la DNM pour leurs conseils, leurs enseignements et leurs constants encouragements.

J'associe à ces remerciements ma maman, mon père et ma sœur, qui malgré leurs interrogations sur ces longues années d'études, m'ont toujours soutenu dès le début de ce projet grâce à la patience et au réconfort de ma famille, mon épouse Néné Oumou DIAOUNE, mes enfants Hawa BAH et Mamadou BAH à qui j'exprime toute ma reconnaissance.

Que tous mes amis trouvent ici l'expression de ma reconnaissance en particulier à Feu Néné Hawa Pérédjon BARRY que la Terre lui soit légère et qu'ALLAH lui accorde le Paradis. A Toute la famille BARRY de Bantiguel en particulier Mr. Ibrahima Hawa BARRY, son épouse Fatoumata Binta BARRY et son fils Amadou Djouldé BARRY pour leur soutien moral, matériel et pour la confiance qu'ils m'ont toujours portée notamment lors des moments difficiles, sans oublier la famille BARRY de Dalaba en la personne de Mr. Abdoulaye Madiariou BARRY, la famille BAH de Donghol Touma Wedhou à Mr. Ismaila BAH et Mr. Abdoulaye BAH (Azoura). J'ai également une pensée pour frère Mr. Mamadou Lamarana Sory BARRY et sa famille.

Que tous mes collègues du LEREA soient remerciés pour leur soutien, avec une pensée particulière pour tous ceux qui nous ont quitté notamment Dr. Mohamadou Faza BARRY, Dr. Paul Miliarakis CONDE, Dr. Mohamed Lamine CAMARA, Mr. Abdoulaye SYLLA, Dr. Alsayni DIALLO, Moussa DIABY Mohamed Lamine BAH et Mr. Abdoul Karim BALDE, Que leurs âmes reposent en paix. AMEN !

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette recherche.

INTRODUCTION

L'écosystème forestier (*en particulier le système arbre/sol*), le plancton océanique (phytoplancton), les tourbières et les prairies sont les principaux puits de carbone naturel planétaire. Ils sont essentiels au mécanisme biogéochimique du cycle de carbone. Ils accumulent d'énormes quantités de carbone dans le bois, les racines, le sol et l'écosystème via la photosynthèse. On estime que l'expansion des plantations d'arbres pourrait compenser 15 % des émissions de carbone des combustibles fossiles dans la première moitié du XXI^e siècle (*ONU/FAO, 2014*).

Les forêts à travers la séquestration naturelle du carbone dans les sols et dans la biomasse forestière, participent activement à la lutte contre le changement climatique. A l'inverse, leur destruction dans les grands bassins forestiers tropicaux (*Amazonie, Congo, Indonésie ...*), contribue à l'augmentation de la concentration atmosphérique des Gaz à Effet de Serre (*Bacour et al., 2006*).

Les forêts sont des réservoirs importants de carbone, par leur biomasse et nécro-masse, via leurs sols (*certaines sols forestiers tourbeux d'Indonésie atteignent 40 mètres d'épaisseur*). Ce puits de carbone est faible dans certaines forêts. Cependant, il n'existe que si elles grandissent ou si leurs sols s'enrichissent durablement en carbone. Les incendies répétés peuvent leur faire perdre une part importante du carbone stocké durant des décennies ou siècles (*ROGER, A. et al 2005*).

Le carbone est présent dans plusieurs réservoirs : l'Atmosphère, la Biosphère (*qui représente l'ensemble des écosystèmes marins ou terrestres*), l'Océan (*où le carbone est dissous sous forme d'ions CO_3^{2-} , HCO_3^-*), les réserves fossiles et les sédiments calcaires. Chaque année, entre un quart et un tiers du carbone atmosphérique change de réservoir ; il suffit de moins de 5 ans pour que la totalité du carbone de l'atmosphère soit renouvelée. Le carbone, qui est l'une des composantes de ce gaz, fait l'objet de nombreux échanges entre les divers constituants terrestres, atmosphériques et océaniques qui forment le cycle global du carbone (*Rouse and Haas, 1973 ; Tucker, 1979*).

Etant donné que le réservoir atmosphérique (760 GtC) est de trois à quatre fois plus petit que le réservoir biosphérique 2000 GtC (*constitué du carbone présent dans la végétation, le sol, le carbone non-organique et les produits bois*), de petites modifications du cycle biosphérique du carbone peuvent entraîner des perturbations importantes dans l'atmosphère. Le carbone biosphérique terrestre se répartit pour 25% dans la biomasse aérienne (au niveau des plantes) et pour 75% dans la biomasse souterraine (*racines, matières en décomposition*). Les flux de

fixation de carbone par une forêt suivent son cycle de vie (le stock de carbone croît avec l'âge avant d'atteindre un plateau) et varient notamment selon le climat, la fertilité des sites et les types de peuplements (Climate frontlines ; 2009).

Les forêts mondiales renferment entre 25 et 50% du carbone accumulé dans les écosystèmes terrestres (*soit environ 1000-1400 GtC ou 2500-4000 Gte CO₂ dont environ 40% dans la partie aérienne par comparaison, 760 GtC se trouvent dans l'atmosphère*), qui se répartit approximativement à 49% dans les forêts boréales, 38% dans les forêts tropicales et 13% dans les forêts tempérées. Les forêts tropicales abritent également 60 à 90% de la biodiversité terrestre. Les forêts apparaissent donc comme une composante importante du bilan global du carbone (ONU, 2012).

Les pays qui disposent des surfaces de forêts les plus importantes sont la Russie (*808 millions ha en 2005*), le Brésil (*477 millions ha*), le Canada (*310 millions ha*), les Etats-Unis (*303 millions ha*), la Chine (*197 millions ha*), l'Australie (*163 millions ha*), la République démocratique du Congo (*133 millions ha*) et l'Indonésie (*88 millions ha*) ; ces 8 pays totalisent à eux seuls 62% des forêts mondiales. La déforestation libère le carbone naturellement stocké dans les forêts mais également réduit la capacité d'absorption globale de la biosphère, si bien qu'une tonne de carbone émise par déforestation contribue plus (de l'ordre de 50%) à l'augmentation de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone que l'émission d'une tonne de carbone fossile (Sakhoudia THIAM *et al* , 2014).

Il est évident que l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère et le changement climatique qui en résulte, auront des effets majeurs au cours de ce 21^{ème} siècle. Même si les scénarios exacts sont encore incertains, on prévoit des effets négatifs sérieux. A cet effet, il est nécessaire que plusieurs actions soient entreprises afin de réduire les émissions de GES et d'augmenter leur séquestration (Ndayizeye, A., Diallo. S. 2014).

Ainsi, on se rend compte que la conservation, l'aménagement des forêts et le développement de nouvelles forêts font partie des stratégies les plus rentables de la modération du changement du climat par voie de séquestration de carbone. Ce qui nous permettra d'engendrer d'autres bénéfices comme l'atténuation de la pauvreté et la conservation de la biodiversité.

Cela est sous-tendu particulièrement dans les pays en développement où il existe des vastes opportunités d'aménagements du couvert végétal pour réaliser des réductions d'émission de carbone et en même temps contribuer au développement durable. L'évaluation des impacts de

ces changements climatiques doit être basée sur une approche intégrée du fait de leurs dimensions multisectorielle, multidisciplinaire, et multi-institutionnelle.

Cependant, la priorité donnée aux actions de réduction des émissions industrielles de GES, les incertitudes sur l'impact de la déforestation dans les émissions globales, la difficulté de contrôler la déforestation ont longtemps repoussé la prise en compte de la séquestration de carbone par les forêts. Cela a changé en 2005, à la conférence de Montréal, sous l'influence de la *Coalition for Rain forest Nations* menée par le Costa Rica et la Papouasie - Nouvelle-Guinée (Limoges, B. 2014).

L'État brésilien de l'Amazonie présente le calcul du gain que l'humanité retire de sa lutte contre la déforestation grâce à la création d'aires protégées : 3 milliards de dollars, sur la base d'un prix de la tonne de carbone à 5 dollars. La France, qui soutient le Partenariat pour les forêts du bassin du Congo (PFBC), lancé en 2002 lors du sommet du développement durable de Johannesburg, participe avec les pays de la Commission des Forêts d'Afrique Centrale (COMIFAC) à la promotion de la lutte contre la dégradation due à de mauvaises pratiques d'exploitation forestière (Winrock, I. 2004).

La lutte contre la dégradation par la promotion de plans de gestion forestière apparaît alors, au même titre que la lutte contre la déforestation, comme un moyen de réduire les émissions. Le décor est dressé pour que les économistes et les scientifiques se portent à la rescousse des États possédant une forêt tropicale.

La presque totalité de la déforestation de 13 millions d'hectares défrichés chaque année dans le monde, (FAO, 2014) est observée dans les forêts tropicales. Les forêts tropicales stockeraient 25 % du carbone de la biosphère terrestre. Leur rôle dans l'absorption des gaz à effet de serre (GES) est plus controversé, mais les forêts tropicales non perturbées pourraient absorber 18 % des émissions provenant des activités humaines chaque année.

Une étude récente menée sur quarante ans en Afrique estime que les arbres tropicaux séquestrent 0,6 tonne de carbone à l'hectare par an ; le Brésil avance le chiffre de 2 tonnes à l'hectare. D'après l'Union internationale de la recherche forestière, les forêts absorbent actuellement plus de carbone qu'elles n'en libèrent, mais cette fonction de régulation pourrait disparaître avec un réchauffement global supérieur à 2,5°C. Les forêts sont donc devenues indissociables de la question climatique, elles sont vues comme des infrastructures naturelles de lutte contre l'effet de serre, mais également comme des victimes potentielles du réchauffement capable de déclencher des rétroactions désastreuses pour la planète.

Les forêts tropicales couvrent 7 à 10 % de la surface globale terrestre et stockent 40-50 % du carbone dans la végétation terrestre. Elles traitent approximativement six fois plus de carbone via la photosynthèse et la respiration que les humains n'en émettent par utilisation d'énergie fossile. Le carbone des forêts tropicales est ainsi une composante critique mais jusque-là très peu quantifiée. Ces forêts sont des écosystèmes très riches et très diversifiés qui procurent à l'homme de multiples services.

Malheureusement, depuis quelques décennies, ces forêts sont intensivement exploitées ou abattues et les sols sont affectés à d'autres usages. Les forêts africaines et surtout celles de la Guinée sont relativement mal connues comparées à celles de l'Amazonie ou celles de l'Asie du Sud-est. De nombreuses études comparatives relatives à la biomasse existent en Amérique Latine et en Asie, mais très peu de littérature disponible pour les forêts africaines et en particulier guinéennes. Les forêts d'Afrique sont également peu étudiées en termes de dynamique forestière (*accroissement de diamètre, mortalité des arbres*) et de nombre d'individus à l'hectare (Hulme, M., et al 2000).

Les forêts guinéennes peuvent être considérées comme un patrimoine impliqué dans la diminution des gaz à effets de serre et la lutte contre le réchauffement climatique. Qu'à cela ne tienne, ces forêts renferment des potentialités énormes exploitables faisant d'elles une source importante des revenus et d'emplois pour le bien-être des populations qui, jusqu'alors restent vulnérables. La prise de conscience mondiale des problèmes environnementaux a poussé les gouvernements à engager des négociations qui ont conduit les pays en de développement vers les initiatives « *Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation (REDD+)* ».

La perte quantitative et qualitative des forêts tropicales a incité les politiques internationales à ralentir la perte des forêts par le mécanisme REDD+, par le biais de systèmes de paiements pour les réductions des émissions de GES dans les pays. Pour l'instant, beaucoup de pays africains ne disposent pas de données de carbone des forêts et des systèmes de surveillance nécessaires pour la mise en place du mécanisme REDD+. Dans cette recherche, des valeurs de carbone d'un paysage naturellement boisé non affecté par l'impact humain direct sont présentés.

Le développement des méthodes allométriques est sous-tendu par les problèmes méthodologiques rencontrés lors des inventaires nationaux des gaz à effet de serre, par le manque ou la faible fiabilité des données et par la grande incertitude sur la précision des résultats. Il convient dès lors de baser l'estimation de la biomasse des écosystèmes sur des régressions allométriques natives (*endogènes*), se fondant sur une collecte de données par méthode d'abattage-pesage.

Le développement de méthodes pour quantifier, de façon fiable et précise, les stocks et flux de carbone dans les écosystèmes forestiers tropicaux conditionne le succès des programmes de lutte contre les Changements Climatiques tel que REDD+. A l'échelle de l'arbre, le stock de carbone se calcule depuis la masse ou « *biomasse* » de l'individu, généralement estimée grâce à des modèles allométriques avec des paramètres d'inventaire classiques tel que le diamètre à hauteur de poitrine (DBH), la hauteur ou la densité (Murdiyarso D, et al. 2012).

De façon typique, une équation mathématique est utilisée. Elle combine une estimation grossière du volume de l'individu via son DBH et sa hauteur (H) à une valeur générique ou spécifique de la densité de son bois (WSG). La qualité de l'estimation repose alors partiellement sur l'établissement adéquat de l'équation allométrique (Adejuwon, J., Azar et al).

Cette équation doit être calibrée sur un échantillon de données représentatif des espèces d'arbres visés, comprenant un nombre important d'arbres dont les relations entre paramètres physiques (DBH, H, WSG) et masse sont homogènes avec ces derniers. Par ailleurs, l'état des connaissances montre que les limites principales des modèles actuels tiennent à leurs formes plutôt qu'à la précision des paramètres qu'ils utilisent.

En d'autres termes, il nous faut améliorer la description du volume et la variabilité de la densité du bois au sein et entre les espèces dans les modèles en ajoutant des variables supplémentaires. Pour ce faire, l'ajout de mesures architecturales individuelles (*diamètres des branches maîtresses*) ou spécifique (*archétype reflétant une densité en branche*) semble bien indiqué. Face au manque critique d'équations allométriques adaptées aux arbres des forêts Guinéennes, une campagne de collecte de données de terrain sera menée dans les forêts classées de la Guinée Forestière.

Cette recherche est menée dans les forêts classées de la Guinée Forestière : Ziama, Mont Nimba, Diécké, Pic de Fon et Béro, intégrera des données biophysiques et des données secondaires sur le suivi de la végétation ligneuse qui permettront d'estimer les stocks du carbone. A cet effet, nous partirons sur l'étude de quelques échantillons d'espèces d'arbres représentatives de ces écosystèmes pour mener nos analyses.

Les différents paramètres du site permettront d'appréhender les impacts de la dégradation forestière et la dynamique du carbone. Les conséquences de la déforestation sont nombreuses en Guinée, l'exploitation anarchique de la forêt et les coupes à blanc causées par l'augmentation du tissu urbain, l'exploitation minière et les aménagements agricoles pourraient entraîner dans le futur une perte d'environ 40 % du couvert forestier (M. Henry et al.2009)

C'est pourquoi, pour matérialiser cette recherche, on peut toutefois essayer un certain nombre de modèles statistiques utilisés pour l'estimation de la biomasse aérienne existant dans la littérature. Un certain nombre de modèles d'équations allométriques est disponible notamment : Dawkins et al. (1961) ; Yverson (1992) ; Chave et al. (2005) ; Brown (1997) ; Djomo (2010) ; Fayol et al. (2013) ; Vieilledent et al. (2012) à Madagascar etc., en fonction du nombre de paramètres biophysiques.

C'est dans cette optique que nous avons porté le choix de nos travaux de recherche en thèse sur le thème intitulé : « *Estimation du potentiel de séquestration du carbone a l'aide des modèles d'équations allométriques multi-espèces : Application aux phytocénoses de la Guinée Forestière* ».

❖ Questions de recherche

La protection des écosystèmes et l'atténuation des effets du changement climatique passent nécessairement par un questionnement des logiques des outils et de mesures des paramètres servant à établir les équations allométriques et le degré de précision des résultats. Plusieurs questions importantes restent donc en suspens :

- Quels modèles d'équations allométriques pantropicales et quel variables biophysiques permettent un meilleur ajustement des données de biomasse ?
- Existe-t-il une variabilité de la quantité de biomasse entre les équations allométriques pantropicales et locales ?

❖ Hypothèses

- Les équations allométriques pantropicales ont tendance à sous ou surestimer la biomasse des arbres dans les forêts classées de la GF ;
- Le modèle d'équations allométriques locales estime la biomasse avec plus de précision que les équations allométriques pantropicales dans les forêts classées guinéennes ;
- La méthodologie par inventaire forestier et par Télédétection (capteurs optiques) tend à converger vers un même résultat aux incertitudes près.

❖ Objectifs

- **Objectif général**

L'objectif général de cette étude est d'estimer le potentiel de séquestration du carbone par des modèles d'équations allométriques par des mesures dendrométriques dans les forêts classées de la GF¹.

- **Objectifs spécifiques**

Les objectifs spécifiques sont :

- a. Tester la validité des équations allométriques pantropicales de Chave et locale de Ebuye (RDC) dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba (Ziéla-Lola) ;
- b. Etablir le Niveau d'Emission de Reference des Forêts (**NERF**²) dans la forêt classée de Ziama ;
- c. Développer des modèles d'équations allométriques multi-espèces pour les forêts classées de la Guinée Forestière ;
- d. Faire la cartographie de la biomasse, les stocks et le niveau de séquestration du carbone dans les forêts classées de la GF.

Notre recherche s'articule sur cinq chapitres :

Le Chapitre 1 s'appuie sur la connaissance des forêts, du cycle et mécanisme de séquestration du carbone.

Le second Chapitre porte sur l'état des lieux des équations allométriques en Afrique.

Le Chapitre 3 s'articule sur les outils et la méthodologie de la recherche.

Le Chapitre 4 fait l'objet d'une distribution spatio-temporelle de la biomasse ligneuse de la Guinée Forestière.

Et le Chapitre 5 présente les résultats, les analyses, les interprétations et discussions ; suivi en fin d'une conclusion générale, des recommandations et des perspectives.

¹ Guinée Forestière

² Niveau d'Emission de Reference des Forêts

CHAPITRE. I – FORÊTS, CYCLE ET MECANISME DE SEQUESTRATION DU CARBONE

CARBONE

Dans la plupart des régions du monde, les forêts jouent un rôle important dans les moyens d'existence des populations. Elles fournissent de l'emploi et de services écosystémiques à travers l'énergie, des aliments et toute une série de biens de régulation. Une bonne gestion des forêts contribue considérablement à la concrétisation des objectifs du Développement Durable et d'une économie verte.

Les terres forestières comprennent toutes les surfaces qui comportent une végétation arborescente correspondant aux seuils (*de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert forestier de plus de 10%*) utilisés pour définir les terres forestières dans les inventaires nationaux officiels de gaz à effet de serre. Elles comprennent également les types de végétation qui, in-situ, seraient susceptibles d'atteindre un seuil utilisé par un pays pour définir les terres forestières (comme les peuplements en régénération). Dans le cadre du protocole de Kyoto, les parties doivent choisir une valeur unique de taux de recouvrement par la canopée, de hauteur d'arbres et de superficie de peuplement pour définir les forêts au sein de leurs limites nationales.

1.1 - Répartition des forêts dans le monde

Les forêts du monde couvrent plus de 4 milliards d'hectares et représentent 31 % de la superficie totale des terres, soit une moyenne de 0,6 hectare par habitant. Les cinq pays les mieux dotés en forêts (*Fédération de Russie, Brésil, Canada, États-Unis d'Amérique et Chine*) comptent pour plus de la moitié de la superficie forestière mondiale. Dix pays sont totalement dépourvus de forêts et dans 54 autres, les forêts ne couvrent que 10 % de la superficie totale des terres (*Source FAO, 2006*). La figure 1.1 matérialise la répartition des forêts dans le monde par zones géographiques.

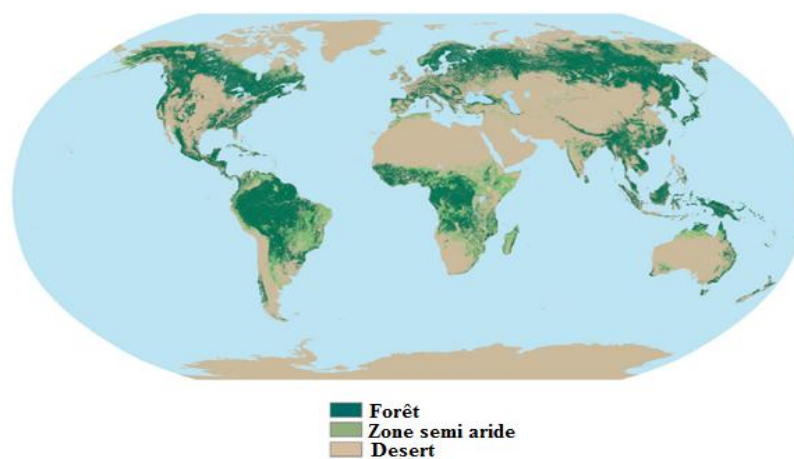


Figure 1.1 - Répartition mondiale des bassins forestiers (Source FAO, 2006).

La Carte de la figure 1.1 montre la répartition des forêts par zones géographiques entre autres : les bassins forestiers de l'Amazonie, de l'Afrique équatoriale, de l'Asie du sud-Est, de l'Amérique du nord et de la Fédération de Russie. Les forêts tropicales représentent 52% des forêts du monde, suivies de celles boréales et polaires dans l'hémisphère Nord pour 25% de la superficie forestière mondiale. Seuls 36% des forêts sont restées à l'état primaire, c'est-à-dire composées d'espèces indigènes et sans trace d'activité humaine. Chaque année, 6 millions d'hectares de forêts primaires disparaissent à cause de la déforestation ou de l'implantation d'activités humaines (*Angelsen, A. et al 2009*)

Tableau 1. 1 -Superficie forestière par régions du monde (*ÉTIENNE, Jean. 2008*)

N°	Régions / continents	Forêts (km ²)	Forêts (%)
1	Amérique latine et Antilles	9 640 000	45,67
2	Amérique du Nord	4 680 000	26
3	Afrique	6 500 000	21,8
4	Asie de l'Ouest (Moyen-Orient et Arabie)	36 600	1
5	Asie de l'Est et Pacifique	7 332 000	35,18
6	Régions polaires (Russie, Scandinavie et Amérique du Nord)	13 800 000	NC
7	Union européenne	1 600 000	35
8	Monde	39 000 000	26,19

- **Variation spatio-temporelle des superficies forestières**

Le tableau 1.1 présente l'évolution des superficies forestières entre 1990 et 2015 dans les 20 pays forestiers au monde. Entre 1990 et 2015, 1 291 359 km² de forêts ont été rasées, ce qui correspond à la superficie totale du Pérou. Dans quelques pays comme la Russie, les États-Unis ou la Chine, la superficie a augmenté grâce à des plans de reboisement. L'abattage de bois parfois massif comme au Brésil, en Indonésie ainsi que dans certains pays africains, à l'inverse a contribué à la déforestation planétaire (*CLIMATE FRONTLINES, 2009*).

Tableau 1. 2-Variation de la superficie des forêts dans le monde (FAO,2018)

Pays	Superficie (km ²)						Nature
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	
Russie	8 089 500	8 091 092	8 092 685	8 087 900	8 151 356	8 149 305	Constant
Brésil	5 467 050	5 339 895	5 212 740	5 067 340	4 984 580	4 935 380	Décroit
Canada	3 482 730	3 480 375	3 478 020	3 475 760	3 473 020	3 470 690	Constant
États-Unis	3 024 500	3 029 930	3 035 360	3 047 570	3 087 200	3 100 950	Constant
Chine	1 571 406	1 670 706	1 770 005	1 930 439	2 006 103	2 083 213	Croit
RDC	1 603 630	1 588 060	1 572 490	1 556 920	1 541 350	1 525 780	Décroit
Australie	1 285 410	1 286 910	1 288 410	1 276 410	1 232 110	1 247 510	Constant
Indonésie	1 185 450	1 089 770	994 090	978 570	944 320	910 100	Décroit
Pérou	779 210	770 340	761 470	755 280	748 110	739 730	Constant
Inde	639 390	646 645	653 900	677 090	697 900	706 820	Croit
Mexique	697 600	688 080	678 560	670 830	664 980	660 400	Constant
Colombie	644 170	631 077	617 984	602 013	586 353	585 017	Décroit
Angola	609 760	603 520	597 280	591 040	584 800	578 560	Décroit
Bolivie	627 950	614 430	600 910	587 340	562 090	547 640	Décroit
Zambie	528 000	519 670	511 340	503 010	494 680	486 350	Décroit
Venezuela	520 260	505 885	491 510	477 130	475 050	466 830	Décroit
Tanzanie	559 200	539 200	519 200	499 200	479 200	460 600	Décroit
Mozambique	433 780	422 830	411 880	400 790	389 720	379 400	Décroit
Papouasie-Nouvelle-Guinée	336 270	336 135	336 000	335 860	335 730	335 590	Constant
Birmanie	392 180	370 430	411 880	333 210	317 730	290 410	Décroit

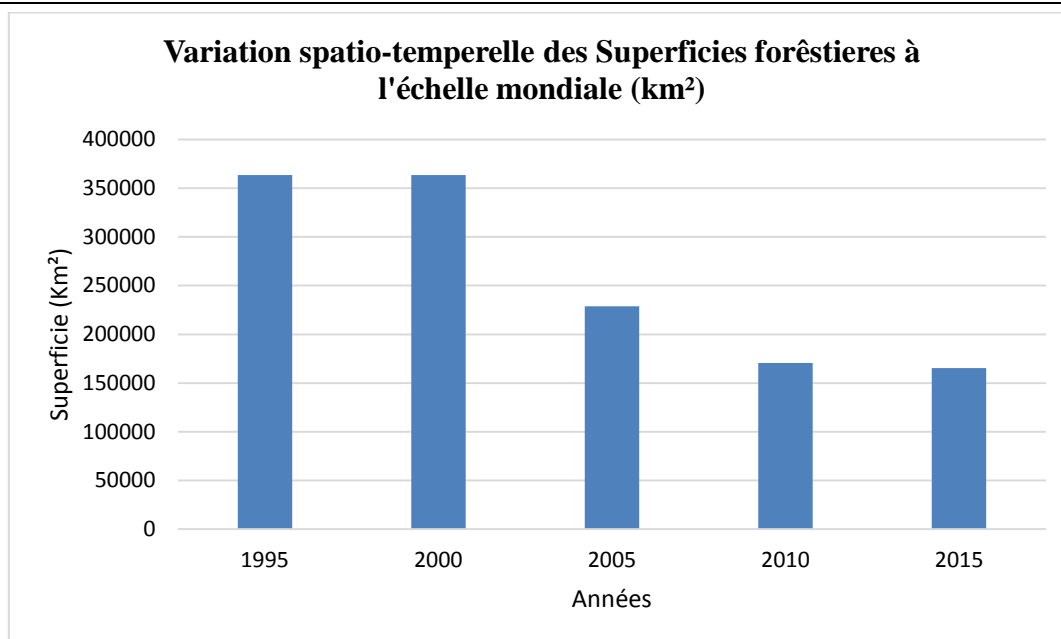


Figure 1. 2-Variation spatio-temporelle des superficies forestières du monde (FAO,2018)
 La figure 1.2 montre la régression de la superficie des forêts dans le monde de 1995 à 2015

1.1.1-Les Forêts d’Afrique

Depuis plusieurs années, les forêts tropicales africaines sont au cœur des enjeux globaux à travers des Conventions Internationales sur le Climat et la Biodiversité. Elles constituent des réservoirs de carbone et de biodiversité offrant ainsi des moyens de subsistance pour des millions de personnes. Les forêts du Bassin de Congo représentent 16% du couvert forestier mondial avec un faible taux de déforestation à nos jours. Les pays d’Afrique de l’Ouest quant à eux, ont vu leur couvert forestier diminuer entre 2000 et 2010 de 20% (Berthelot J. 2008).



Figure.1 3- Vue générale des forêts de la zone intertropicale de l’Afrique (Berthelot J. 2008)

- **Afrique centrale**

L’Afrique centrale est couverte par une superficie de 2870000 km² de forêts comprenant à la fois des forêts sèches et humides. Les forêts denses humides s’étendent du Golfe de Guinée jusqu’à la vallée du Rift sur plus de 1700000 km². Ces forêts ne sont pas homogènes et comprennent divers types forestiers confrontés à des problèmes spécifiques en termes d’exploitation et de conservation.

Les plus diversifiées présentent les niveaux d’endémisme les plus élevés, elles bordent le Golfe de Guinée et le Rift Albertin. Les forêts de l’Afrique Sub-Saharienne abritent 10 à 20% du carbone végétal mondial et environ 46 milliards de tonnes métriques de carbone sont stockées dans les pays du Bassin du Congo (Nasi et al., in de Wasseige et al. (2009)).

Les forêts denses sempervirentes de basse altitude représentent 60% du carbone stocké dans la région et couvrant seulement 35% de la surface. Des études sur la biomasse à l’échelle du Bassin du Congo sont en cours (Shapiro and Saatchi, 2014) et permettront de préciser des analyses antérieures réalisées à l’échelle mondiale (Saatchi et al., 2011).

Les forêts tropicales constituent des réservoirs exceptionnels de carbone et de biodiversité. Depuis quelques décennies elles sont au cœur des enjeux internationaux sur le changement climatique. Le Bassin du Congo est le second plus grand écosystème forestier tropical après l’Amazonie ; relativement conservé, il joue un rôle important dans la régulation du système climatique continental et mondial.

Ces forêts d’Afrique centrale offrent des moyens de subsistance à 60 millions de personnes qui y vivent ou résident à proximité. Elles remplissent également des fonctions sociales et culturelles essentielles aux populations locales et autochtones et contribuent par ailleurs et plus indirectement à alimenter les 40 millions de personnes qui vivent dans les centres urbains proches de ces domaines forestiers (Nasi et al., 2011 ; de Wasseige et al., 2014).

L’importance des forêts tropicales du Bassin de Congo a progressivement hissé ces écosystèmes au rang de bien commun de l’humanité. De nombreux accords multilatéraux tentent aujourd’hui d’encadrer la gestion et la préservation de ces milieux en partenariat avec les États. Depuis les premiers travaux de terrain aux dernières avancées en technologies de la télédétection, l’état des lieux et les dynamiques des types de couverts forestiers tropicaux sont de mieux en mieux caractérisés.

Ces connaissances essentielles représentent un prérequis nécessaire à la définition puis au suivi des politiques économiques et environnementales nationales et internationales. Elles nécessitent des financements importants auxquels les États seuls ne peuvent faire face. À titre d'exemple, le processus REDD+ dans lequel se sont engagés plusieurs pays du Bassin du Congo impose la mise en place d'un système intégré de Mesure, Notification et Vérification (MNV) des changements liés à la déforestation et/ou à la dégradation des forêts¹ et ceux résultant de l'amélioration du couvert forestier.

L'identification et la cartographie des zones de changements de couvert forestier (globalement l'usage des terres) sont indispensables pour élaborer des politiques localement adaptées aux dynamiques en cours.

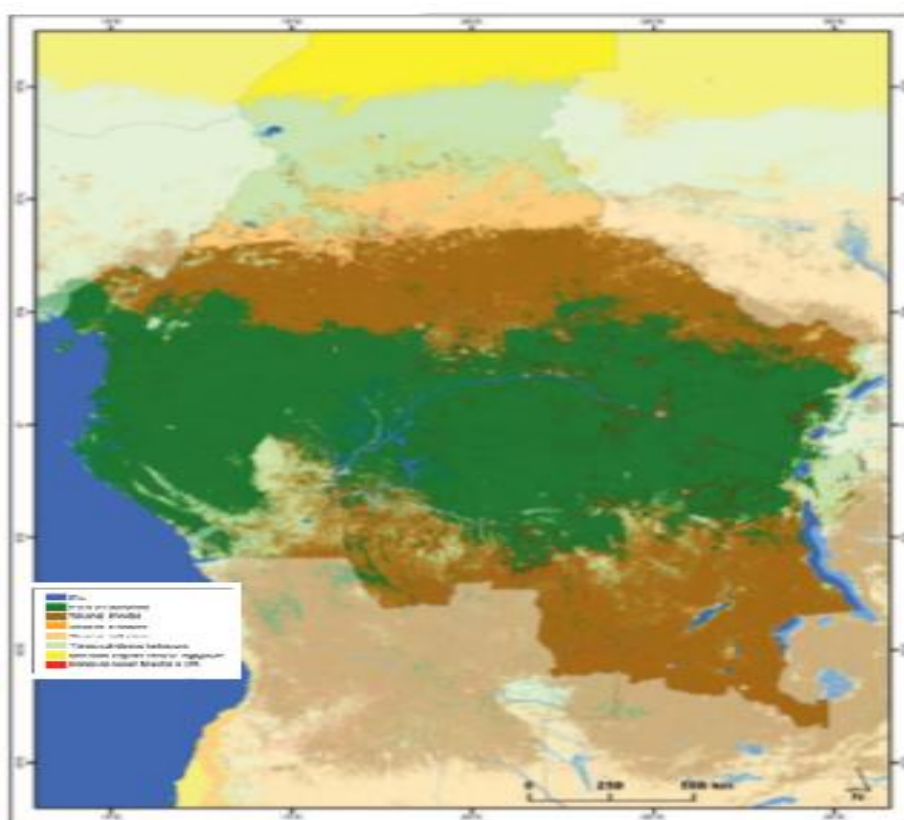


Figure.1 4- Couverture forestière du Bassin de Congo et Pertes du couvert végétal entre 2000 et 2012 d'après les données de MODIS Land Cover Type product – MCD12Q1 Source : Hansen et al. (2013).

Le Bassin du Congo est couvert d'une forêt continue qui s'étend du Golfe de Guinée à l'Est à la vallée du Rift à l'Ouest. Selon les experts, les forêts de l'Afrique Sub-Saharienne représentent 10 à 20 % du stock de carbone végétal mondial. Cette forêt n'est pas uniforme et contient différents types forestiers qui abritent des espèces d'arbres diverses et présentent des enjeux propres en termes d'exploitation et de conservation.

La quantification de grands ensembles de carbone forestier stocké à l'état actuel des recherches ne permet pas d'établir de corrélations précises entre les gradients de carbone et les types de forêts dans le Bassin du Congo.

Des études de la biomasse à l'échelle du Bassin de Congo sont actuellement en cours (Shapiro et Saatchi, 2014) pour compléter les visions à échelle globale développées par de précédentes analyses (Saatchi *et al.*, 2011). Une typologie des forêts et du stockage de carbone associé peut-être construite :

- La zone centrale contient une immense forêt marécageuse difficile d'accès et par conséquent mieux préservée. Elle s'étale sur un long réseau fluvial dense et se situe en partie sur des sols inondés. Dans ces forêts, le stock de carbone est de l'ordre de 100 à 150 tonnes par hectare ;
- Dans le reste de la RDC, au Cameroun, au Gabon et en Guinée équatoriale, il s'agit principalement de forêt dense humide, plus ou moins fragmentée à proximité des villages et le long des routes. Les techniques actuelles d'exploitation de données satellitaires permettent de quantifier de manière précise les dégradations subies par ces zones : entre forêt « intacte », jachères, plantations. Ces forêts, quand elles sont non perturbées, peuvent stocker jusqu'à 200 tonnes de carbone par hectare ;
 - au Nord et au Sud du Bassin (sud de la RDC, sud de la RCA), on trouve des forêts sèches. Elles sont principalement issues d'anciennes forêts humides et présentent des arbres moins hauts et des stocks de carbone moins importants qui sont de l'ordre de 150 tonnes par hectare ;
 - en s'éloignant du centre du Bassin, on trouve des mosaïques de forêts et de savanes dans lesquelles des patchs de forêts denses alternent avec des zones herbeuses, ces types de végétation stockent des quantités inférieures à 100 tonnes de carbone par hectare ;
 - enfin, les savanes arborées (savanes contenant des arbres isolés) couvrent de larges surfaces au nord du Cameroun, en RCA et au sud de la RDC et stockent de faibles quantités de carbone inférieures à 50 tonnes par hectare.

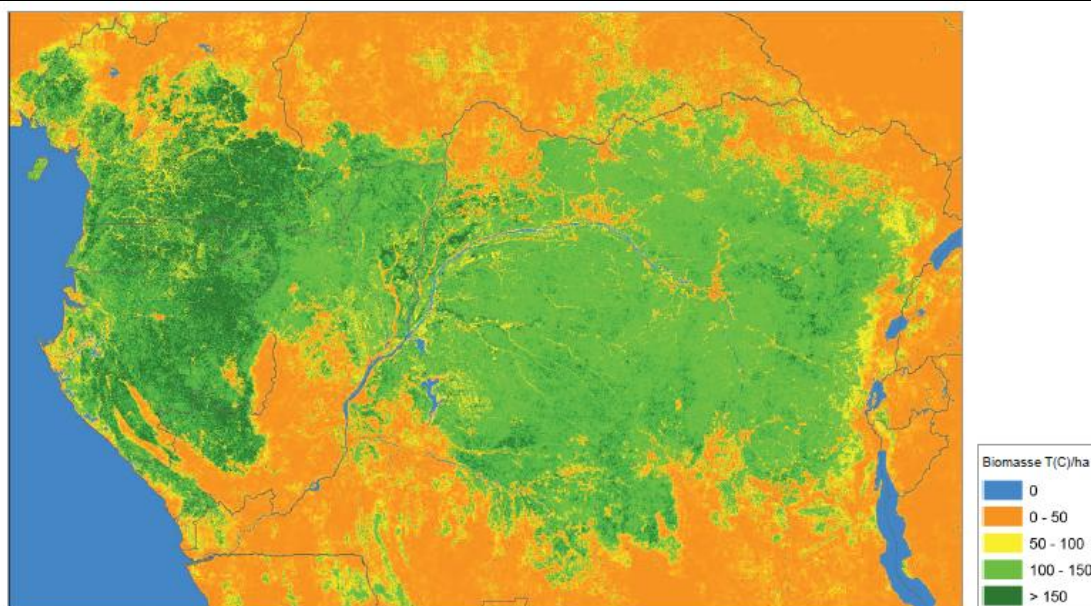


Figure.1 5- Répartition des stocks de biomasse des principaux types de forêts du Bassin de Congo Source : Saatchi *et al.* (2011)

- **Afrique de l’Ouest**

Cet espace de 93 047 km² englobe toutes les zones boisées de l’Afrique de l’Ouest, allant de la Sierra Leone et de la Guinée à l’ouest jusqu’à la Rivière Sangha, située dans l’Ouest du Cameroun, à l’Est. Incluant ainsi les pays suivants : Guinée, Sierra Leone, Liberia, Côte d’Ivoire, Ghana, Togo, Bénin, Nigéria, Cameroun, Sao Tomé-et-Principe, ainsi que les îles Bioko et Annobon en Guinée équatoriale.

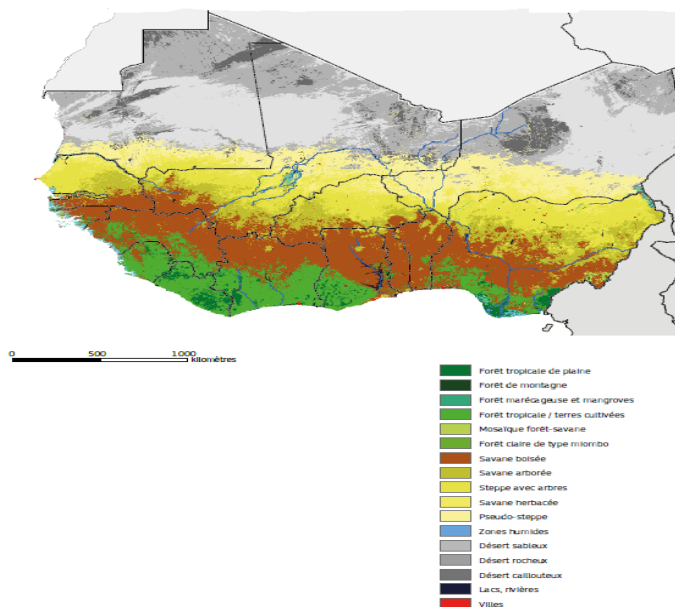


Figure.1 6 - Les types d’occupation du sol de la région Afrique de l’Ouest (A. A NYONGOLO, 2018)

La végétation de l’Afrique de l’Ouest se présente de manière plutôt uniforme par rapport à d’autres parties de l’Afrique tropicale. En raison de sa topographie de basse altitude, les zones de végétation reflètent essentiellement les zones climatiques. Ceci donne naissance à une série de zones de végétation formant des bandes pratiquement parallèles qui s’étendent de la côte sud guinéenne, où les précipitations sont élevées et bien distribuées tout au long de l’année, en passant par des zones à la végétation toujours plus sèche, jusqu’aux confins du désert du Sahara plus au nord.

1.1.2- Forêts classées de la République de Guinée

Faute d’inventaire et de redéfinition des limites des forêts classées de l’Etat Guinéen depuis leur création jusqu’à ce jour, la superficie de ces forêts s’élèverait à **1 182 133 ha** pour un total de **162 forêts classées** (soit **4,80 % du territoire national**). En 1997 (*Monographie nationale sur la Diversité biologique*) la Moyenne Guinée possède la plus grande superficie de forêts classées (413 638 ha) pour un nombre total de 64 avec un taux de couverture de 6,50 %. La Haute Guinée possède le petit nombre de forêts classée de l’Etat, soit 26 au total, mais elle est la deuxième région du point de vue superficie (333 723 ha) avec un taux de couverture de 3,45 %. (DNEF-ASF 2015)

Les ressources forestières de la Guinée sont diverses et variées. Elles vont de la forêt primaire humide du Sud à la savane herbacée du Nord, en passant par des forêts sèches et la savane arborée. Ces forêts subissent les effets des sécheresses des dernières décennies, de l’exploitation incontrôlée ainsi que des pratiques agricoles inappropriées. L’importance de cette ressource est pourtant bien connue de tous.

Du point de vue énergétique par exemple, plus de 80% de l’énergie consommée provient du bois de feu (environ 2 millions de tonnes de bois chaque année). A Conakry, plus de 80% des ménages utilisent le bois de feu pour les besoins domestiques (Diallo *et al.* 2000).

Le déficit pluviométrique et l’augmentation de l’ETP projetés avec les changements climatiques contribueront à une modification de la carte de végétation actuelle. La variation de l’indice d’aridité amène à conclure que la savane arborée disparaîtra du Nord au profit de la savane herbacée plus vulnérable.

La végétation se compose généralement de forêts de palétuviers dans la zone côtière, de savanes de toutes sortes (résultant de la dégradation des formations végétales) qu’on rencontre surtout

en Haute Guinée, de forêts sèches en Moyenne Guinée et en Haute Guinée, de forêts denses humides souvent primaires en Guinée Forestière.

Ces formations végétales couvrent des superficies inégales : la savane occupe la plus grande partie (81%) soit 10 600 000 ha. Elles sont malheureusement chaque année, la proie à des feux de brousse qui, selon la Direction Nationale des Eaux et Forêts, en détruisent 25 %. Les 19% restants du territoire national sont constitués de forêts y compris la mangrove.

Tableau 1. 3 - Nombres et superficies des forêts classées de la Guinée par région naturelle (DNEF-ASF 2015)

	2000		2002		2004		2006		2008		2010		2012		2014		2016		2018	
	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)	Nb	Sup (ha)
Base Guinée	32	112068	32	112068	32	112068	32	112068	32	112068	32	112068	32	112068	32	112068	32	112068	32	112068
Moyenne Guinée	64	413638	64	413638	64	413638	64	413638	64	413638	64	413638	64	413638	64	413638	64	413638	64	413638
Haut Guinée	26	333723	26	333723	26	333723	26	333723	26	333723	26	333723	26	333723	26	333723	26	333723	26	333723
Guinée Forestière	40	322704	40	322704	40	322704	40	322704	40	322704	40	322704	40	322704	40	322704	40	322704	40	322704
Total	162	1182133	162	1182133	162	1182133	162	1182133	162	1182133	162	1182133	162	1182133	162	1182133	162	1182133	162	1182133
Taux de couverture (%)	4,80		4,80		4,80		4,80		4,80		4,80		4,80		4,80		4,80		4,80	

Tableau 2.26: Situation des forêts (2015)

Catégories	Unité	1990	2000	2005	2010	2015
Forêts	Milliers ha	7264	6904	6724	6544	6364
Autres terres boisées	Milliers ha	5850	5850	5850	5850	5850
Autres terres	Milliers ha	11458	11818	11998	12178	12358
Eaux intérieurs	Milliers ha	14	14	14	14	14
Total	Milliers ha	24586	24586	24586	24586	24586

Source : Évaluation des ressources forestières mondiales 2015 (FRA 2015) / FAO

1.2 - Le cycle global du carbone

Des processus écologiques dirigent tout notre système biologique. Un des liens principaux dans le système réside dans le transfert de carbone entre les organismes et l'atmosphère. Ce processus est connu sous le nom de Cycle du carbone. Le dioxyde de carbone (CO₂) est un des gaz à effet de serre qui contribue actuellement au réchauffement de la planète. Le carbone, qui est l'une des composantes de ce gaz, est l'objet de nombreux échanges entre les divers constituants

terrestres, atmosphériques et océaniques qui forment le cycle global du carbone.

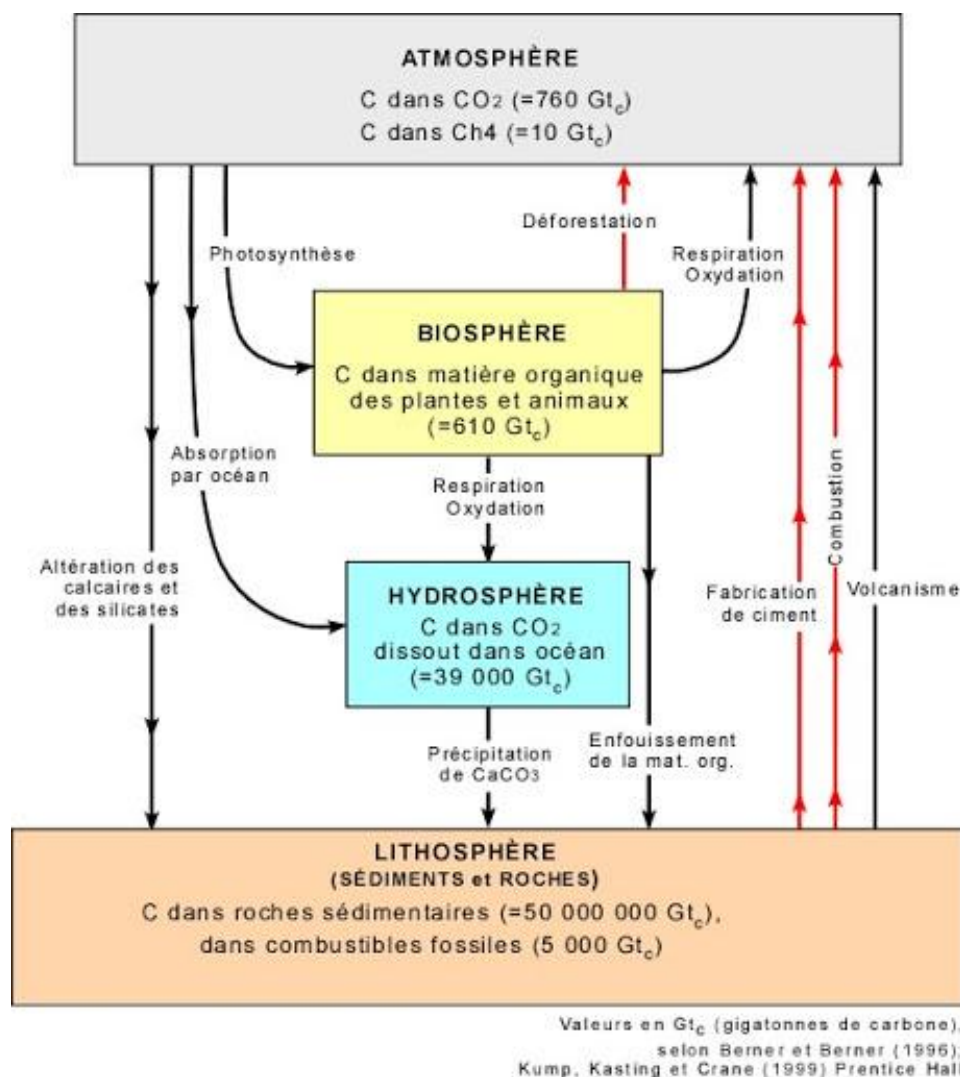


Figure 1 7- Schéma du cycle de carbone

L'eau représente la plus grosse partie de la matière vivante. Cependant, le reste est principalement constitué de molécules de carbone (95% ou plus), y compris les composés utilisés dans le transfert et le stockage d'énergie. L'énergie emmagasinée se dissipe finalement lorsque les composés carbonés sont oxydés et deviennent du dioxyde de carbone par des réactions métaboliques à tous les niveaux de la chaîne alimentaire.

Le dioxyde de carbone dans l'atmosphère est alors recyclé en composés de carbone plus complexes par les plantes et d'autres organismes autotrophes (qui se nourrissent seuls). Cependant, tout le carbone n'est pas recyclé rapidement. Une partie est emmagasinée dans les sédiments de l'océan et une autre dans la terre, alors que la biomasse accumule le carbone. Les forêts, par exemple, emmagasinent d'importantes quantités de carbone sous des formes durables.

En règle générale, environ la moitié du poids d'un arbre arrivé à maturité est constitué de carbone. Tant que cet arbre est en vie et productif, il retient plus de carbone qu'il n'en libère

dans l'atmosphère. Les forêts sont donc considérées comme des puits de carbone. Les plus anciens sols forestiers contiennent des strates profondes de composés carbonés à désintégration lente, des strates qui se forment au fil du temps. Les arbres en vie ajoutent du carbone au sol en perdant leurs feuilles et les vieux arbres laissent du bois mort quand ils sont endommagés ou morts. Ici, la leçon est simple : la plantation d'arbres peut aider à l'absorption du carbone atmosphérique. Toutefois, le stockage du carbone sur le long terme nécessite un système dans lequel la matière végétale morte peut s'accumuler au fil du temps.

1.4- Réservoirs de carbone

Le changement climatique est dû à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Plusieurs gaz à effet de serre voient leur concentration augmentée, mais le dioxyde de carbone (CO₂) est de loin le plus important. Toutes les plantes, y compris les arbres et les autres plantes forestières, utilisent la photosynthèse pour absorber le CO₂ et le transformer en différents composés organiques qui constituent la matière végétale comme le bois, l'écorce ou les feuilles. Cela contribue donc à la diminution du CO₂ dans l'atmosphère.

La quantité de carbone piégée dans les écosystèmes terrestres est environ 3 fois plus élevée que celle atmosphérique. Ce carbone du sol est 700 fois plus important que l'augmentation annuelle en CO₂ (DJOMBO et al, 2016). Par conséquent, des modifications mêmes faibles de la capacité de séquestration de cet énorme réservoir pourraient avoir des répercussions déterminantes sur l'évolution du taux de CO₂ atmosphérique.

Le stockage de carbone (C), sous forme de biomasse à la surface du sol et sous forme d'humus dans le sol, peut ainsi constituer une solution à développer à grande échelle. Le stock de carbone des formations forestières est généralement divisé en "compartiments" : les arbres vivants (biomasse aérienne et souterraine), le bois mort (sur pied et au sol, encore appelé "nécromasse"), la végétation du sous-bois (herbacées et ligneux bas), la litière et le sol (matière organique principalement).

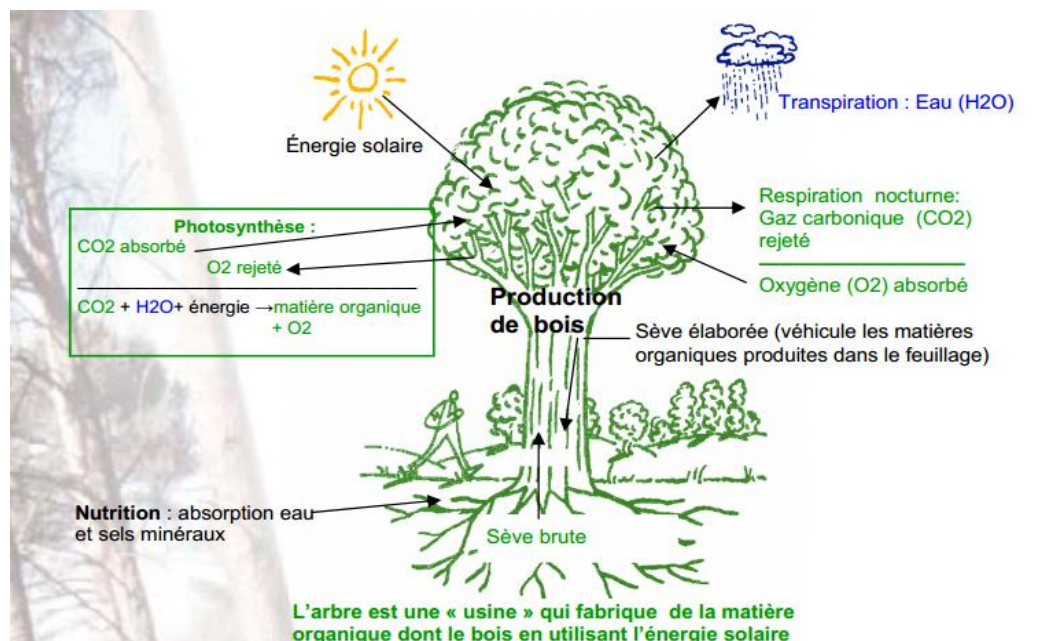


Figure.1 8 - Processus de fabrication de la matière organique par l'arbre

(S. DORISCA et al, 2011)

1.5- Les puits de carbone

Un puits de carbone ou puits CO₂ est un réservoir (naturel ou artificiel) qui absorbe du carbone en circulation dans la biosphère (Océan et écosystème forestier). Ce carbone est alors piégé dans de la matière vivante puis par la suite plus ou moins durablement séquestré dans de la matière organique morte ou dans une roche « *biogénique* ». En contribuant à diminuer la quantité de CO₂ atmosphérique, les puits de carbone influent sur le climat planétaire et donc sur toutes les composantes de l'environnement qui dépendent du climat. Les deux grandeurs physiques associées sont les stocks, qui caractérisent les réservoirs, et les flux de carbone. Les puits sont définis par des stocks croissants ou des flux positifs de l'atmosphère vers la biosphère.

À propos des écosystèmes continentaux, le terme de puits de carbone peut caractériser un objet physique à des échelles différentes, depuis la parcelle forestière jusqu'à la biosphère globale. Par exemple, à l'échelle mondiale, la biosphère terrestre constitue actuellement un puits de

carbone qui absorbe chaque année environ 2,3 milliards de tonnes de carbone (figure 2). Cette valeur est estimée par différence entre les émissions de carbone fossile (6,3 Gt/an) et l'accumulation dans l'atmosphère (3,3 Gt/an) et dans les océans (2,3 Gt/an), ce qui représente un puits net de 0,7 Gt/an (Watson et al., 2000).

En tenant compte des émissions liées à la déforestation tropicale (estimée à 1,6 Gt/an), on estime que la biosphère continentale absorbe par ailleurs environ 2,3 Gt/an. Cette absorption se fait en partie par la reforestation des zones tempérées (environ 0,7 Gt/an d’après Dixon et al., 1994). Le reste pourrait être lié à une stimulation de la croissance actuelle des forêts. Cette stimulation s’expliquerait par l’augmentation de la photosynthèse liée à des teneurs accrues en CO₂, l’augmentation de la durée de la saison de croissance liée au réchauffement et l’augmentation des dépôts azotés fertilisants liés à la pollution atmosphérique.

A la fin du Carbonifère, les principaux puits étaient les processus biologiques de production de charbon, pétrole, gaz naturels, hydrates de méthane et roches calcaires. Aujourd’hui, ce sont les océans, les sols (humus) et la flore (forêt, tourbière, prairies).

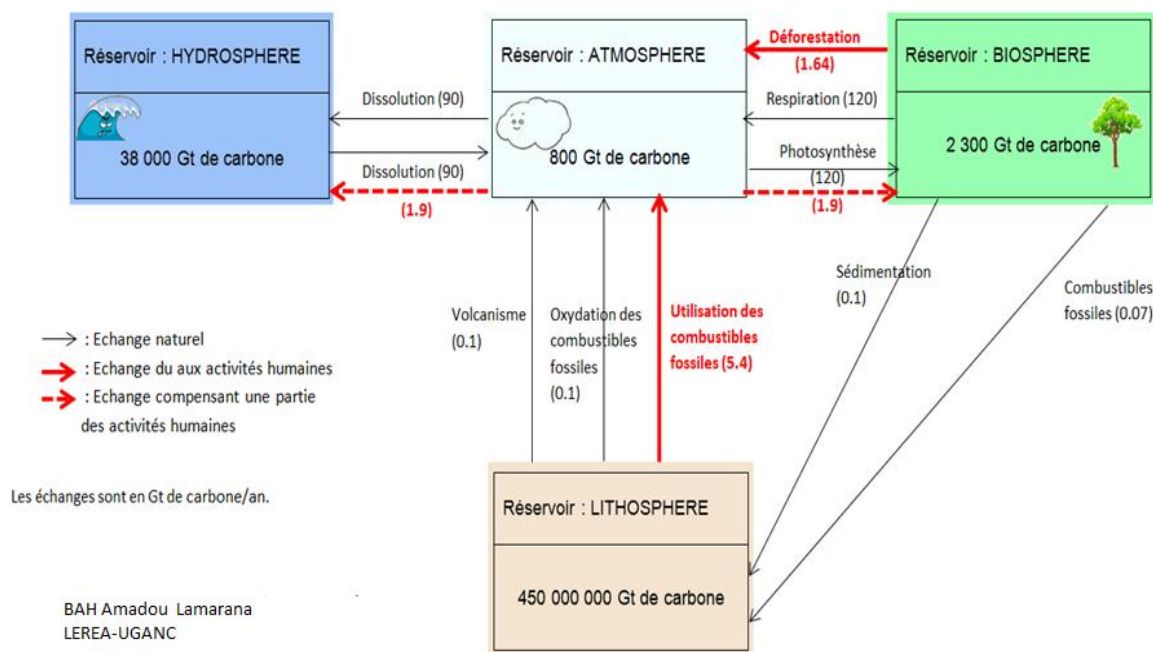


Figure1. 9 - Mécanisme d’échange des puits de carbone (Romijn E et al 2013)

La séquestration du carbone (ou « piégeage », ou « emprisonnement du carbone ») désigne les processus extrayant le carbone ou le CO₂ de l’atmosphère terrestre et le stockant dans un puits de carbone.

La biosphère absorbe aujourd’hui environ 20 % du carbone anthropique émis dans l’air, grâce à la photosynthèse qui est la base du mécanisme naturel et actif de séquestration du carbone. Les bactéries photosynthétiques, les organismes végétaux et la chaîne alimentaire

ainsi que la nécromasse qui en dépendent sont considérées comme contributeurs des puits de carbone.

1.5.1- Puits naturels

Les Tourbières, les toundras sont les meilleurs puits de carbone d'un écosystème et de nombreuses tourbières ont été exploitées, drainées (ce qui entraîne une minéralisation avec perte de carbone), brûlées (en Indonésie par exemple pour planter des palmiers à huile), ou simplement, sous l'effet du réchauffement peuvent voir leur sol rapidement évoluer (et des études expérimentales de sols légèrement réchauffés montrent que les pertes de carbone des sols induites par le réchauffement sont les plus importantes en zone périarctique là où les stocks de carbone sont les plus importants ; si l'eau ne manque pas le réchauffement augmente la photosynthèse, mais sans compenser les émissions de CO₂ ou de méthane dues à une activité accrue des microbes du sol, activité d'autant plus importante que le sol est riche en carbone).

1.6 - UN-REDD Programme

Le Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts dans les pays en développement (ONU-REDD) est un partenariat basé sur la collaboration entre l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUD). Il a été créé suite à la décision de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) concernant la Réduction des Emissions liées au Déboisement et à la Dégradation des forêts dans les pays en développement (REDD) lors de la 13^e Conférence des Parties (COP 13) et Plan d'Action de Bali (PAB) et en vue de soutenir cette décision.

Ce programme apporte un soutien aux pays pour les aider à développer leur capacité à réduire les émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts et à mettre en œuvre un mécanisme de REDD futur dans le cadre d'un régime climatique post-2012. Il se base sur le pouvoir de rassemblement de ses organes onusiens participants, sur la diversité de leurs connaissances techniques spécialisées et sur leurs vastes réseaux. Le programme ONU-REDD opère aux échelles nationales et mondiales, à travers des mécanismes de soutien aux stratégies REDD impulsées par les pays et le développement de consensus au niveau international sur les processus REDD (Brockhaus M et Angelsen A, 2012).

1.7 - Mécanisme REED/REED+

La REDD repose sur le fait que lorsqu'une forêt est abîmée ou détruite, du CO₂ est libéré. Si l'on parvient à diminuer le rythme de la déforestation (disparition complète des forêts) ou de la dégradation (forêts abîmées, par exemple à cause de l'exploitation), alors on pourra diminuer la quantité de CO₂ libéré. Pour calculer l'ampleur de la diminution des émissions de CO₂, il faudra déterminer une base ou un scénario de référence auquel comparer les émissions réelles. La méthodologie permettant de déterminer cette base n'a pas encore été approuvée, mais elle s'appuiera probablement sur le taux d'émissions dans le temps et sur la tendance estimée à l'avenir en l'absence de programme de contrôle de la diminution forestière (Verchot et al. 2013).

Les émissions réelles seront ensuite mesurées (c'est une opération compliquée qui demandera beaucoup de travail pour trouver les méthodologies appropriées) et les deux courbes seront comparées. La différence entre le scénario de référence et les émissions réelles équivaut à la réduction des émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts un mécanisme visant à Réduire des Emissions provenant de la Déforestation et de la Dégradation des forêts (REDD+).

Au départ, il était pertinent de considérer REDD uniquement dans les pays ayant un taux de déforestation élevé pouvant être diminué. Cependant, il existe également de nombreux pays qui conservent toujours la majeure partie de leur couvert forestier, et dont les taux de déforestation sont historiquement bas. On s'est rapidement rendu compte qu'il était nécessaire, à la fois du point de vue politique et du point de vue technique, d'inclure ces pays dans un mécanisme global :

- D'un point de vue politique, il est important que les mesures de la CCNUCC emportent un large soutien, car ce processus est basé sur le consensus. Il est peu probable que les pays tropicaux possédant des forêts vastes dont les taux de déforestation sont bas appuient un mécanisme dont ils ne peuvent pas profiter.
- D'un point de vue technique, de nombreux facteurs de déforestation, en particulier l'exploitation industrielle et l'agriculture à grande échelle, sont très variables. Par conséquent, si un mécanisme est appliqué uniquement dans les pays ayant actuellement un taux de déforestation élevé, le risque est grand d'observer des déplacements internationaux vers les pays dont les taux de déforestation étaient auparavant plus faibles.

Par conséquent, le concept REDD a été étendu à REDD+ qui comprend également des mesures de conservation des stocks forestiers existants (c'est à dire conserver les forêts dans les pays qui ont toujours des taux de déforestation bas), la gestion durable des forêts et l'accroissement des stocks forestier (c'est à dire l'accroissement de carbone forestier par le biais de la restauration ou de la plantation de nouvelles forêts).

L'idée phare au cœur du mécanisme de réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) est de récompenser les individus, les communautés, les projets et les pays qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées aux forêts. Le mécanisme REDD est en mesure de réduire en peu de temps et à faible coût les émissions de CO₂ tout en contribuant en même temps à la réduction de la pauvreté et au développement durable (Herold M, Angelsen A, Verchot LV, Wijaya A et Ainembabazi JH. 2012).

1.8-Neutralité carbone

En climatologie et en matière de politique climatique, la **neutralité carbone** à l'intérieur d'un périmètre donné, est un état d'équilibre à atteindre entre les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine et leur retrait de l'atmosphère par l'homme ou de son fait. La différence entre les gaz émis et extraits étant alors égale à zéro. La neutralité carbone est également désignée par l'expression **zéro émissions nettes** (ZEN).

Le retrait de gaz à effet de serre de l'atmosphère (on parle également d'émissions négatives) concerne essentiellement le CO₂. On distingue généralement les méthodes utilisées par l'homme pour restaurer, sauvegarder ou renforcer la capacité d'absorption des puits de carbone naturels (forêts, sols et océans) et les méthodes faisant appel à la technologie, appelées « technologies d'émissions négatives » (TEN).

Le concept de neutralité carbone fait l'objet de différentes interprétations et les questions de méthodologie sont nombreuses. On relève ainsi des différences dans les gaz pris en compte (CO₂ seul ou tous), dans le périmètre des émissions considérées (approche « territoire » ou « empreinte »), dans les facteurs d'émission utilisés pour les inventaires et dans les puits de carbone pris en compte, car il est difficile d'établir une frontière nette entre ce qui ressort de la main de l'homme ou de celle de la nature. Dans la mise en œuvre, certains font appel aux technologies d'émissions négatives, d'autres non. Il en est de même pour la compensation carbone, qui est pratiquée ou non.

Dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, atteindre la neutralité carbone au niveau mondial avant la fin du siècle est présenté par de nombreuses institutions (GIEC, CCNUCC, etc) comme une nécessité pour limiter la hausse des températures à 2 °C, voire 1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle, un des objectifs majeurs de l'accord de Paris de 2015. Ainsi, le rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C de 2018 montre que les émissions nettes anthropiques (causées par l'homme) de CO₂ doivent tomber à zéro d'ici à 2050 pour un réchauffement global limité à 1,5 °C, ou d'ici à 2075 pour un réchauffement limité à 2 °C.

L'Accord de Paris a été le premier accord international utilisant la notion de neutralité carbone à l'échelle mondiale. Mais auparavant, et dès le début des années 2000, l'objectif de neutralité carbone a été décliné à l'échelle de pays, de territoires, de villes, d'entreprises, de produits ou d'événements, en faisant le plus souvent appel, en partie ou exclusivement, à des mécanismes de compensation carbone. De ce fait, la neutralité carbone a souvent été confondue avec la compensation carbone.

Le concept de neutralité carbone est critiqué pour le flou qui l'entoure et son potentiel d'interprétation. Certains redoutent d'autre part que la prise en compte d'émissions négatives dans les scénarios visant à atteindre la neutralité carbone ne conduise à négliger ou retarder les efforts de réduction des émissions. Selon eux, ces scénarios ne sont pas crédibles car les technologies d'émissions négatives ne sont pas encore prouvées ou sont d'un coût très élevé, et que la restauration ou le renforcement des puits naturels de carbone (forêts, sols et océans) fait l'objet de nombreuses critiques.

1.9-Stratégie Nationale du Développement Durable de la République de Guinée

Dotée de ressources naturelles variées et abondantes, la Guinée a ratifié de nombreux accords internationaux pour répondre aux enjeux de la protection de l'environnement et du développement durable. En dépit de ces efforts, les ressources naturelles du pays se dégradent en grande partie due aux activités anthropiques mal maîtrisées, ce qui est par ailleurs exacerbé par le changement climatique. Consciente de ses atouts, la Guinée a choisi la voie d'un développement durable, dont les principes sont inscrits dans sa Constitution de 2010, et s'est engagée dans ce sens sur la scène internationale, par la ratification de la quasi-totalité des accords internationaux sur l'environnement et le développement durable et l'adoption de l'Agenda 2030 des Nations Unies, et l'Agenda 2063 de l'Union Africaine.

La Guinée se veut un pays émergent et prospère garantissant le bien-être à sa population ainsi qu'aux générations futures à travers sa Vision « Guinée 2040 ». Avec l'appui du PNUD, le gouvernement s'est mobilisé pour l'élaboration d'une Stratégie Nationale du Développement Durable pour la République de Guinée (SNDD), qui donne les orientations majeures pour le développement d'une culture commune du développement durable nécessaire à l'atteinte des cibles de la Guinée.

La SNDD a pour objectif d'établir une vision collective à long terme sur l'ensemble des enjeux de développement durable auquel le pays doit répondre, incluant l'éradication de la pauvreté, l'amélioration des conditions de vie de l'ensemble de la population, la gestion des ressources naturelles, l'instauration d'une bonne gouvernance. Elle repose sur des politiques, plans et programmes déjà existants, qui intègrent pour la plupart certains aspects du développement durable, en créant des synergies et un cadre d'action commun.

L'élaboration de la SNDD de la République de Guinée a fait l'état des lieux des enjeux de développement durable de la Guinée, des engagements pris au regard de ceux-ci et des politiques mises en œuvre dans le pays en suivant un processus participatif et inclusif. Dans ce cadre, des ateliers régionaux de consultation ont été réalisés en Novembre 2018 dans les quatre régions naturelles de Guinée : Basse Guinée (Kindia), Guinée Forestière (Nzérékoré), Haute Guinée (Kankan) et Moyenne Guinée (Labé).

La vision qui résulte de ce diagnostic approfondi est celle d'une Guinée qui « est prospère et assure une bonne qualité de vie à tous ses citoyens, en valorisant durablement son capital naturel avec des modes de production et de consommation durables, et en garantissant l'avenir des générations futures ». Celle-ci repose sur les 4 piliers fondamentaux du développement durable que sont le développement social, le développement économique, le développement culturel et le développement environnemental. Des axes stratégiques prioritaires ont également été définis de manière participative et se déclinent en 34 objectifs spécifiques, dont les cibles à atteindre sont fixées à l'horizon 2040.

Au nombre de sept, les axes stratégiques de la SNDD de la République de Guinée sont :

- (i) La promotion d'une bonne gouvernance ;
- (ii) La promotion du développement humain et de l'accès aux services sociaux de base ;
- (iii) Le développement d'une agriculture durable et moderne, préservant l'environnement ;

- (iv) La gestion rationnelle des ressources naturelles et le renforcement de la conservation de la biodiversité ;
- (v) La réussite de la transition énergétique par le développement des énergies propres ;
- (vi) La promotion d'une culture de paix, de cohésion sociale, de diversité culturelle et de développement durable ;
- (vii) La promotion du genre, de l'équité, de la formation et des emplois verts pour les jeunes. Ces axes stratégiques ciblent l'ensemble des Objectifs de Développement Durable alignés sur l'Agenda 2030 et visent, in fine, à répondre aux besoins fondamentaux de la population et des générations futures. Ils sont également en phase avec la Vision 2063 et les aspirations de l'Union Africaine d'une « Afrique intégrée, prospère et pacifique, dirigée par ses propres citoyens, et représentant une force dynamique sur la scène mondiale ».

La SNDD se veut opérationnelle, étant assortie d'un plan d'action, inclusive et évolutive. Elle doit faire l'objet d'un suivi-évaluation et elle sera amenée à évoluer, en impliquant l'ensemble des parties prenantes à savoir l'Etat, le secteur privé et la société civile (SNDD, 2019).

1.10-Stratégie Nationale sur le Changement Climatique en République de Guinée

La Guinée à l'instar d'autres pays en voie de développement est confrontée aux conséquences du changement climatique et à de nombreux problèmes socio-économiques. Les écosystèmes naturels et la diversité biologique ainsi que les secteurs-clés du développement de la Guinée et les communautés rurales et urbaines demeurent particulièrement vulnérables aux impacts du changement climatique.

Le changement climatique au cours de ces dernières décennies est caractérisé en Guinée par des variations de précipitations marquées par une brusque alternance d'années humides et sèches, des inondations précoces, une augmentation des températures et une recrudescence des phénomènes météorologiques extrêmes. Ces phénomènes deviendront de plus en plus intenses et fréquents au cours de ce siècle.

L'analyse des données de températures moyennes de 13 stations météorologiques révèle que la moyenne des températures est de 25,4 °C. Le maximum des moyennes de températures maximales a été observé à Koundara avec 36,2 °C et le minimum des moyennes de températures minimales à Labé avec 13,9 °C. La variation des projections pour la Guinée pour les périodes : 2020, 2030, 2050, 2075 et 2100 indique que les températures seront élevées dans l'ensemble du pays. Les températures très élevées se localiseront dans les

régions du Nord-Est, Ouest et Nord-Ouest et les faibles températures au Sud-Est du pays. Quant à la variation décennale de la température, il est remarquable de constater qu'à chaque décennie, la valeur moyenne augmente de quelques décimales par rapport à la normale de la période.

Le régime pluviométrique a été sévèrement affecté en Guinée tant du point de vue hauteur qu'en nombre de jours de pluie. La moyenne durant les 56 dernières années a été de 1920,7 mm soit un peu moins de 2 mètres de hauteur d'eau par an. Si en 1961 on a recueilli à Conakry 5346,9 mm en 152 jours de pluie, aujourd'hui à peine nous recueillons 4000 mm d'eau par an. Durant la même période (1961-2016), la hauteur minimale observée a été de 765,3 mm en 85 jours à Koundara en 2002. Les projections de la pluviométrie à l'horizon 2020, 2030, 2050, 2075 et 2100 montrent que la tendance est à la baisse sur l'ensemble du pays.

Les variations décennales font observer que le glissement des normales climatologiques vers des valeurs plus faibles est assez remarquable. Quant à la répartition spatiale de la pluviométrie, les quantités recueillies diminuent de Sud vers le nord. Les maximas sont observés le long de la côte (Conakry-Boké) et Macenta. Pour faire face aux enjeux et aux risques liés au changement climatique, le Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts (MEEF), avec l'appui du PNUD, a commandité l'élaboration d'une stratégie nationale de lutte contre le changement climatique assortie d'un plan d'actions.

La présente stratégie ainsi élaborée intègre et complète les efforts et engagements du Gouvernement Guinéen pour un développement résilient aux impacts du changement climatique et sobre en émissions de gaz à effet de serre. Cette Stratégie Nationale sur le Changement Climatique (SNCC) vise ainsi l'intégration durable et cohérente des deux composantes du changement climatique (adaptation et atténuation) dans les politiques nationales de développement du pays, dans le cadre d'une coordination efficace et d'une convergence des initiatives en matière de lutte contre le changement climatique. La stratégie a été conçue de manière participative et inclusive, impliquant toutes les catégories d'acteurs, particulièrement les parties prenantes intervenant dans les secteurs vulnérables au changement climatique.

Le processus d'élaboration de la SNCC s'est déroulé dans un contexte de réalisation d'un diagnostic participatif sur l'état global des ressources naturelles et de changement climatique dans les 4 grandes zones écologiques pour définir les grandes tendances de

changements ; identification et analyse des défis/ barrières et les opportunités d'interventions pour inverser les tendances et accroître la résilience des communautés; identification des actions prioritaires susceptibles de contribuer à la lutte contre le changement climatique etc. La Stratégie nationale élaborée est bâtie sur la vision Guinée 2040 déclinée comme suit « une Guinée prospère, sobre en carbone et résiliente au changement climatique qui prend en compte les priorités de développement national de manière durable et équitable ».

Elle s'articule autour d'une mission de renforcement des capacités des institutions nationales, des communautés et des initiatives, afin qu'elles aient une forte capacité d'adaptation, de réduction des risques de catastrophe et d'atténuation de leurs effets. Son objectif général est de renforcer la capacité d'adaptation de la Guinée, afin d'accroître la résilience au changement climatique et d'optimiser les possibilités d'atténuation pour un développement sobre en carbone (SNCC, 2019).

1.11 Stratégie nationale sur la diversité biologique 2016 - 2025 pour la mise en œuvre des objectifs d'AICHI en Guinée.

Pour le renforcement de l'efficacité de gestion des aires protégées le Gouvernement a créé le corps des conservateurs de la nature doté d'un statut paramilitaire particulier. Pour l'opérationnalisation de ce corps, un personnel de 2 000 agents a été recruté et formés. Parmi ces agents, 500 sont déployés pour la surveillance du réseau des aires protégées. En plus, les 48 cadres formateurs à la disposition du Ministère de l'environnement, des Eaux et Forêts ont suivi une formation au commandement. Pour compléter cette formation, un programme de formation technique est en perspective au niveau de ce Ministère.

À l'échelle globale, le déboisement et le défrichement sont à l'origine d'environ un cinquième des émissions de GES (1,7 Gt C/an). Le portrait de la Guinée est le suivant (République de Guinée, 2007) : la quantité totale des émissions de gaz à effet de serre (GES) à travers les différentes activités socio-économiques (7 Mt C/an) est nettement inférieure à celle absorbée (-11 Mt C/an) par les formations végétales, ce qui fait que le pays reste encore un important puits avec un potentiel d'absorption de l'ordre de 4 Mt C/an. Basé sur l'estimation d'une perte forestière de 0,5 %/an en Guinée, si ces forêts denses et claires sont transformées en jachère et savane arbustive, la perte de carbone est estimée à 1,27 Mt C/an.

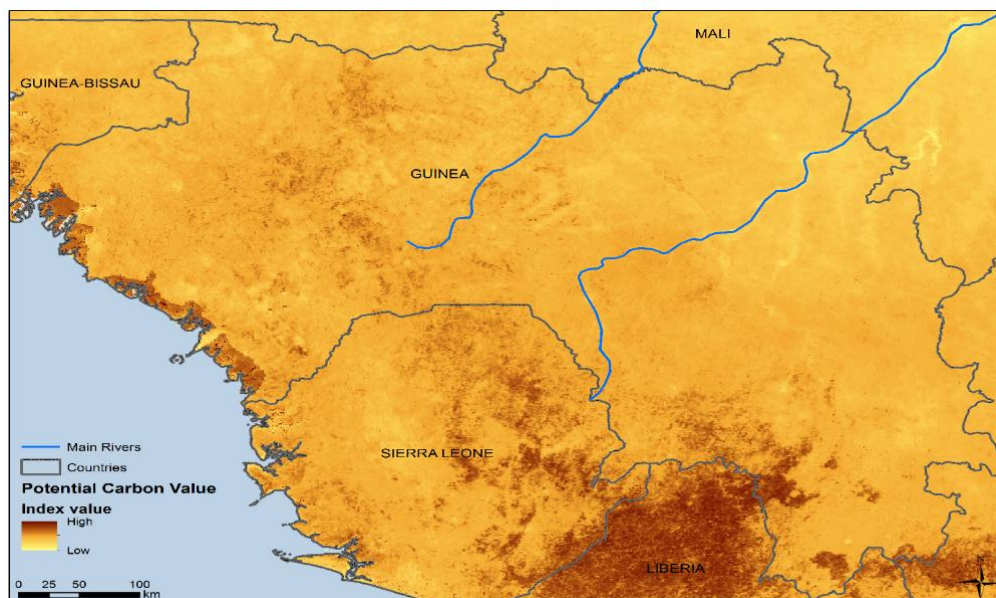


Figure 1.11 Carte du potentiel en carbone de la république de Guinée (UCN, UNEP-WCMC et CEPF, 2015)

Cela représente une valeur d'environ \$ 13 millions US/an qui s'en va en fumée, seulement pour la conversion de la forêt en jachère. Pour les forêts tropicales comme celles guinéennes, les coûts sont les suivants :

- (i) Protection : \$ 5 à 102 US/ha ;
- (ii) Plantation : \$ 51 à 2380 US/ha ;
- (iii) Agroforesterie : \$ 850 à 5950US/ha ;
- (iv) Régénération ou mise en défens : \$ 5 à 102 US/ha.

Van Kooten *et al.* (2004) estiment le coût de séquestration 1 t C dans les tropiques par pratiques :

- (i) Conservation des forêts : \$ 45 à 55 US/ha ;
- (ii) Plantation : \$ 55 à 65 US/ha ;

- (iii) Agroforesterie : \$ 55 à 70 US/ha ;
- (iv) Gestion forestière : \$ 23 à 28 US/ha ;
- (v) Dans le sol : \$ 28 à 34 US/ha.

L'analyse du développement sectoriel au regard des objectifs d'Aichi 2, 3, 4, 11 et 14, montre que les différentes menaces pesant sur la diversité biologique se situent au niveau de tous les secteurs et que les solutions à préconiser doivent concerner tous les secteurs. L'analyse des cadres politiques juridique et réglementaire a permis de constater que l'intégration de la biodiversité a des forces qu'il faut maintenir et des faiblesses qu'il faut corriger par des améliorations sensibles (Elhadj Maadjou BAH et *al* 2019).

1.12 Perte et de la dégradation de la biodiversité en Guinée

À l'échelle globale, le déboisement et le défrichement sont à l'origine d'environ un cinquième des émissions de GES (1,7 Gt C/an), la majorité étant imputable au déboisement dans les régions tropicales. Depuis 1850, au total 136 Gt C ont été émis dans l'atmosphère en raison du défrichement (IPCC, 2014, cité par Limoges, 2014). Le portrait de la Guinée est le suivant (République de Guinée, 2007) : la quantité totale des émissions de gaz à effet de serre (GES) à travers les différentes activités socio-économiques (7 Mt C/an) est nettement inférieure à celle absorbée (-11 Mt C/an) par les formations végétales, ce qui fait que le pays reste encore un important puits avec un potentiel d'absorption de l'ordre de -4 Mt C/an. Basé sur l'estimation d'une perte forestière de 0,5 %/an en Guinée, si ces forêts denses et claires sont transformées en jachère et savane arbustive, la perte de carbone est estimée à 1,27 Mt C/an (Elhadj Maadjou BAH et *al* 2019).

Tableau 2.9 Stocks de carbone et leur valeur dans les écosystèmes guinéens

Type formation végétale	Superficie (x 1000 ha)	Densité de carbone (t C/ha)	Stock total de carbone (Mt C)	Valeur du stock (milliards \$)
Mangroves	250	800	200	2,0
Forêts denses humides	700	250	175	1,8
Forêts claires et forêts denses sèches	1600	150	240	2,4
Savanes boisées	10 636	110	1170	12
Jachères et savane arbustive	7500	70	525	5,3
Couverture agricole	1700	40	68	0,7
Autres	2200	0	0	0
Total	24 586	-	2378	24

CHAPITRE II - ETAT DES LIEUX DES EQUATIONS ALLOMETRIQUES

2.1- La biomasse

La biomasse d'un arbre représente le poids ou la masse de son tissu vivant. Elle est généralement exprimée en unités de tonnes métriques (t). La biomasse vivante est subdivisée en composantes aériennes (*feuilles, branches et tiges*) et en sous-sol (racines). L'estimation de la Biomasse vivante sèche (AGB) d'un arbre correspond au poids du tissu de la plante vivante en surface, lorsque toute l'eau ait été enlevée en utilisant un four à Mouffe spécial de laboratoire spécial. Il faut souligner que l'eau représente environ 50% ou la moitié du poids (*ou biomasse humide*) d'un arbre vivant.

2.2- Croissance des arbres au sein du peuplement

Lorsque la croissance du volume ou de la biomasse dans l'ensemble du peuplement est obtenue, il s'agit ensuite de la répartir entre les différents arbres. Les relations utilisées pour la croissance en diamètre individuel sont souvent du type potentiel \times réducteur, où le potentiel est donné par la croissance en surface terrière et / ou en hauteur dominante et les réducteurs sont fonction (i) d'un indice de densité et (ii) du statut social de l'arbre.

Les indices de densité peuvent être tout simplement la densité du peuplement, mais les chercheurs ont élaboré d'autres indices comme le facteur d'espacement de Hart-Becking, basé sur la croissance des arbres hors peuplement (croissance libre), ou le RDI (« Reinecke density index »), basé sur la loi d'auto-éclaircie (croissance des arbres en peuplement hyper-dense) qui présentent tous deux l'avantage d'être moins dépendants de l'âge du peuplement que la densité elle-même (Shaw, 2006 et Vanclay, 2009).

2.3 - Répartition de la biomasse dans l'arbre

Enfin, à présent que la biomasse du peuplement a été répartie entre les arbres, il faut, pour chaque arbre, l'attribuer à chaque compartiment et la répartir le long des axes. Pour le tronc, une relation communément utilisée est la loi de Pressler (ou pour les écophysiologistes, son équivalent donné par le « pipe-model » de Shinozaki et al., 1964 a, b):

- (i) la surface du cerne augmente linéairement du haut de l'arbre jusqu'à la base fonctionnelle du houppier;
- (ii) (ii) elle reste ensuite constante de la base du houppier jusqu'au bas de l'arbre.

Par conséquent, au fur et à mesure que l'arbre grandit, le tronc va devenir de plus en plus cylindrique puisque les largeurs des cernes sont plus fortes près du houppier qu'en bas. Cette

loi de Pressler n'exprime toutefois qu'une répartition moyenne du bois le long de l'arbre (Saint- André et al., 1999). En effet, pour les arbres dominants, la surface du cerne peut continuer d'augmenter sous la base du houppier et pour les dominés / surcimés, elle peut diminuer fortement. Dans les cas extrêmes, il est même possible que le cerne ne soit pas complet en bas des arbres, voire même qu'il soit manquant, comme par exemple chez le hêtre (Nicolini et al., 2001). Par ailleurs, toute action sur le houppier (fortes ou faibles densités, éclaircies, élagages) va avoir des conséquences sur l'empilement des cernes et donc sur la forme du tronc (Larson, 1963 ; Valinger, 1992 ; Ikonen et al., 2006).

Il en résulte, pour le tronc, qu'à dimensions égales (Hauteur, diamètre, âge) des tiges, la biomasse sera ou non différente selon les conditions de Croissance des arbres. Il est parfaitement possible qu'une augmentation du volume soit, par exemple, accompagnée par une baisse de densité (c'est un schéma classique sur les résineux).

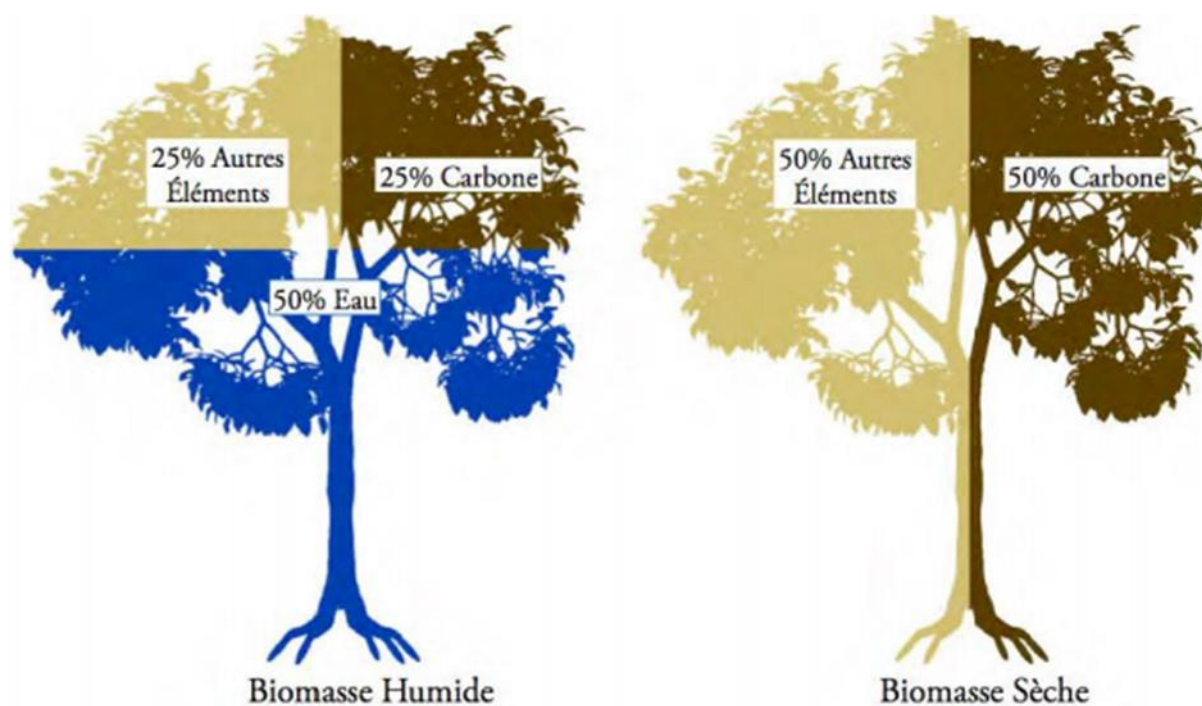


Figure 2. 1- Répartition de la biomasse au niveau de l'arbre (Limoges, B. 2014)

2.4- Principes de base de l'estimation de la biomasse

À l'échelle d'une population, il existe une relation statistique entre les différentes mensurations d'un individu (Gould, 1966). Cette relation découle du développement ontogénique des individus dont la variabilité est liée à leur croissance. Ainsi, les proportions entre hauteur et diamètre, entre taille du houppier et diamètre, entre biomasse et diamètre, obéissent à une règle qui est la même pour tous les arbres vivants dans les mêmes conditions,

du plus petit au plus gros (King, 1996; Archibald et Bond, 2003; Bohlman et O'Brien, 2006; Dietze et al., 2008). Il s'agit du principe de base de l'allométrie, qui permet de prédire une mensuration d'un arbre (*typiquement sa biomasse*) en fonction d'une autre mensuration (*par exemple son diamètre*).

2.5 - Généralités sur les équations allométriques

Une équation allométrique est une fonction qui formalise de manière quantitative de relation taille et forme. Il existe trois (3) modèles d'équations allométriques qui nous permettent de faire : la prédiction du volume (*tarifs de cubage*), de l'estimation de la biomasse et de l'évaluation de la masse minérale (*minéralomasse*). Dans le cadre de notre recherche, nous nous focaliserons sur l'estimation de la biomasse.

Par conséquent, l'allométrie consiste en une relation de la proportionnalité entre les accroissements relatifs des mensurations (Huxley, 1924 ; Gayon, 2000). A travers cette définition, on admet B la biomasse, D le diamètre et a un coefficient tel que :

$$\frac{dB}{B} = a \frac{dD}{D} \quad (2.1)$$

Ce qui s'intègre en une relation de puissance:

$$B = b.D^a \quad (2.2)$$

Avec cette définition restreinte, une équation allométrique est donc synonyme d'équation de puissance (White et Gould, 1965). Le paramètre a représente le coefficient allométrique (*proportionnalité entre les accroissements relatifs*), tandis que le paramètre b indique une proportionnalité entre les grandeurs cumulées. Du point de vue physique, il est nécessaire de rajouter une ordonnée à l'origine à cette relation qui devient :

$$B = c + bD^a \quad (2.3)$$

Où c - représente la biomasse de l'individu avant qu'il n'atteigne la hauteur à laquelle est mesurée le diamètre.

Ainsi, la relation de puissance renvoie à l'idée d'autosimilarité lors du développement des individus (Gould, 1971). Partant de ce principe, et en s'appuyant sur la « **pipe theory** » (Shinozaki et al., 1964), une théorie fractale de l'allométrie a été développée (West et al., 1997, 1999; Enquist et al., 1998, 1999). Sous certaines hypothèses de contraintes biomécaniques de stabilité des arbres et de résistance hydraulique dans les réseaux de cellules conductrices, cette théorie prédit une relation de puissance avec un exposant $a = 2,67$ entre la biomasse et le diamètre des arbres.

Cette relation est intéressante car elle est fondée sur des principes physiques et une représentation mathématique des réseaux de cellules dans les arbres. Elle est toutefois

largement discutée, son caractère trop général étant quelquefois mis en défaut (*Zianis et Mencuccini, 2004; Zianis et al., 2005; Muller-Landau et al., 2006*), bien qu'il existe des possibilités d'avoir d'autres coefficients d'allométrie selon les hypothèses biomécaniques et hydrauliques retenues (*Enquist, 2002*).

Dans le cadre de cette recherche, nous adopterons la définition la plus large de l'allométrie, qui renvoie à une corrélation (linéaire ou non) entre les accroissements des mensurations des arbres. La relation de puissance ne sera donc qu'une relation allométrique parmi tant d'autres. Quelle que soit la définition adoptée, l'allométrie renvoie au développement ontogénique des individus, c'est-à-dire à la croissance des arbres.

2.6 - Modélisation de la biomasse forestière

La modélisation de la biomasse s'appuie sur l'étude des modèles de régression qui lie la taille aux formes des essences forestières. Elle s'exprime par la fonction ci-dessous

$$B = f(D, H, \rho, Tf) , \quad (2.4)$$

Où **B** – Biomasse, **D** - diamètre, **H**- hauteur de l'arbre, **ρ** - densité du bois, **Tf**- type de forêt

2.7- Les types d'équations allométriques

On distingue différents types d'équations allométriques permettant d'estimer la biomasse d'un arbre. Il s'agit :

2.7.1- Equations mono-espèces ou spécifiques à un genre

Etablies par Basuki *et al.* (2009) pour quatre genres d'espèces commerciales en Indonésie. Ces équations incluent généralement le diamètre et/ou la hauteur, et éventuellement l'âge du peuplement pour les plantations dans le jeu des variables biophysiques ;

2.7.2 - Equations multi-espèces locales établies dans un site donné

Elles incluent le diamètre et/ou la hauteur, et la densité du bois dans le jeu des variables biophysiques (*Ketterings et al., 2001*) ;

2.7.3 - Equations multi-espèces régionales

Elles mettent en relation le diamètre et/ou la hauteur, la densité du bois et le type de forêt dans le jeu des variables biophysiques de la biomasse. Les principales équations pantropicales sont celles de Brown *et al.* (1989), de Chave *et al.* (2005, 2014), de Feldpausch *et al.* (2012). Elles sont réalisées globalement par type de forêts en distinguant trois types forestiers tropicaux « wet » – « moist » – « dry »).

2.7.4 - Equations allométriques pour les forêts en Afrique.

Des équations allométriques mono-espèces ont été établies dans deux pays du bassin du Congo, le Cameroun et le Congo. Au Cameroun, ces travaux sont localisés dans la forêt semi-caducifoliée de la réserve forestière de Mbalmayo (Deans et al., 1996) et dans la zone de savane et de forêts claires (Smektala et al., 2002 ; Peltier et al., 2007).

Tableau 2. 1 - Synthèse des modèles d'équations allométriques multi-espèces locales disponibles pour estimer la biomasse totale aérienne(B) en kg ; n la taille de l'échantillon ; D le diamètre en cm ; H la hauteur totale en m ; ρ la densité du bois en g.cm⁻³.

N°	Pays	Equation allométrique	source	n
Un seul prédicteur : D				
1	Cameroun	$B = \exp(-1,9967 + 2,3924 \cdot \ln(D))$	Djomo et al. (2010)	91
Deux prédicteurs : D et H				
2	Cameroun	$B = \exp(-2,9946 + 0,99317 \ln(D^2 H))$	Djomo et al. (2010)	91
Deux prédicteurs : D et P				
3	Gabon	$B = \exp[-4,0596 + 4,0624 \ln D - 0,228(\ln D)^2 + 1,4307 \ln p]$	Ngomanda et al. (2014)	101
	Cameroun	$B = p \cdot \exp(-1,183 + 1,940 \ln(D) + 0,239 \ln(D)^2) - 0,0285(\ln(D)^3)$	Fayolle et al. (2013)	137
4	Cameroun	$B = \exp(-1,8623 + 2,4023 \ln(D) - 0,3414 \ln(p))$	Djomo et al. (2010)	91
Trois prédicteurs : D, p et H				
5	Gabon	$B = \exp[-2,5680 + 0,9517 \ln(D^2 H) + 1,189 \ln p]$	Ngomanda et al. (2014)	101
6	Cameroun	$B = 1,603 \cdot (p D^2 H)^{0,657}$	Ebuyi et al. (2011)	12
7	Cameroun	$B = \exp(-2,4360 + 0,1399(\ln D)^2 + 0,7373 \ln(D^2 H) + 0,2790 \ln(p))$	Djomo et al. (2010)	91

Tableau 2. 2 - Présentation de quelques modèles de régressions allométriques classiques (Quentin MOUNDOUNGA M, 2015).

Modèle	Equations de régression allométriques
Chave et al.2005	$AGB = \exp(-2,557 + 0,940 \ln(\sigma D^2 H)) \equiv 0,0776 \cdot (\sigma D^2 H)^{0,940}$
Brown et yverson, 199	$AGB = 1,276 + 0,034 (D^2 H)$
Brown, 1997	$AGB = \exp(-2,134 + 2,53 \ln(D))$
Scatena et al.1993	$\ln(AGB) = -3,282 + 0,95 \ln(D^2 H)$
Chave et al. 2005b*	$AGB = \sigma \cdot \exp(-2,997 + \ln(\sigma D^2 H))$
Brown et al. 1989	$AGB = 38,4908 - 11,7883 (D) + 1,1926 (D^2)$
Chave et al. 2005	$AGB = \sigma \cdot \exp(-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207 (D)^2 - 0,028 (\ln(D))^3)$
Chambres et al.2001	$\ln(AGB) = -0,37 + 0,33 \ln(D) + 0,933 \ln(D^2) - 0,122 \ln(D^3)$
Chave et al. 2004	$AGB = \sigma / 0,6 \cdot (\exp(-3,742 + 3,450 \ln(D) - 0,148 \ln(D^2)))$
FAO.3.2.3. (1997)	$AGB = 42,69 - 12,8D + 1,242D^2$
FAO. 3.2.4. (1997)	$\ln(AGB) = -2,134 + 2,53 \ln(D)$
FAO. 3.2.5. (1997)	$AGB = 21,297 - 6,953D + 0,74D^2$
Chave et al. 2005	$\ln(AGB) = -2,235 + 0,916 \ln(\sigma D^2 H)$ (Forêt sèche)
Chave et al. 2005	$\ln(AGB) = -2,994 + \ln(\sigma D^2 H)$ (Pour tous les types)
Dawkins et al. 1961	$AGB = 0,0694^* (\sigma D^2 H)$
Tiepolo et al. 2002	$AGB = 21,297 - 6,953 (D) + 0,74 (D^2)$
Ogawa et al. 1965	$AGB = 0,0430 (D^2 H)^{0,950}$

2.8- Les équations allométriques pantropicales

Les équations allométriques pantropicales sont utilisées pour convertir les données d'inventaires forestiers en biomasse et carbone. Ces données ont été calibrées sur un jet de données conséquent (n = 2410 arbres) provenant de 27 sites de la zone intertropicale ; mais aucune donnée n'été collectée en Afrique (Chave J. et al., 2005).



Figure 2. 2 - Zones d'échantillonnages du premier modèle d'équations allométriques pantropicales (Adeline FAYOLLE et al, 2016)

Jusqu'à récemment, en l'absence d'équations allométriques calibrées localement, des équations pantropicales étaient utilisées en Afrique tropicale. Dans une première approche, Brown et al. (1989) puis Chave et al. (2005) ont développé des équations allométriques pantropicales séparément pour les forêts de type « *Dry* » (pluviométrie < 1 500 mm, saison sèche > 5 mois), « *Moist* » (pluviométrie 1 500-3 500 mm, saison sèche 1-5 mois) et « *Wet* » (pluviométrie > 3 500 mm, saison sèche < 1 mois).

Les équations pantropicales développées par Chave et al. (2005) ont largement été utilisées en Afrique tropicale. Ces équations ont permis de convertir les données de diamètre, issues d'inventaires forestiers et de densité du bois, provenant de bases de données, en biomasse aérienne à l'échelle des arbres (Stephenson et al., 2014) et des forêts (Djuikouo et al., 2010 ; Gourlet-Fleury et al., 2011 ; Makana et al., 2011 ; Maniatis et al., 2011 ; Medjibe et al., 2011 ; Gourlet-Fleury et al., 2013 ; Bastin et al., 2015 ; Ekoungoulou et al., 2015).

Dans certains travaux, la hauteur totale de l'arbre était également incorporée dans le jeu de prédicteurs. La hauteur était alors soit mesurée (Djomo et al., 2011 ; Shirima et al., 2011 ; Marshall et al., 2012 ; Day et al., 2013 ; Lindsell et al., 2013 ; Bastin et al., 2014 ; Bastin et al., 2015 ; Ensslin et al., 2015 ; Gatti et al., 2015 ; Shirima et al., 2015), soit estimée à partir d'une relation allométrique hauteur – diamètre établie à l'échelle mondiale (Lewis et al., 2009), régionale (Lewis et al., 2013) ou locale (Kearsley et al., 2013 ; Bastin et al., 2015 ; Shirima et al., 2015 ; Fayolle et al., 2016).

Toutefois, la validité des équations pantropicales de Chave et al. (2005) en Afrique tropicale a été fortement discutée. La limite majeure serait liée à l'absence de données provenant d'Afrique tropicale dans la calibration des équations. En ce qui concerne les forêts de type « *Dry* », les prédictions, testées dans trois sites du nord-est de la Tanzanie dans les

forêts claires de type Miombo sur 167 arbres répartis entre 1 et 110 cm de diamètre, montrent une sous-estimation systématique de la biomasse des arbres de l'ordre de 10 à 20 % (Mugasha et al., 2013).

Dans les forêts de type « *Moist* », l'équation a été validée au Sud-Est du Cameroun dans une forêt dense humide de transition entre les types de forêt sempervirent (plante qui garde ses feuilles tout au long de l'année) et semi-caducifolié (arbre **caducifolié** qualifie une espèce végétale qui perd ses feuilles de manière périodique.) sur 138 arbres répartis entre 5 et 192 cm de diamètre (Fayolle et al., 2013).

Le modèle a aussi été validé au Nord-Est de la République Démocratique du Congo (RDC) dans les forêts denses humides semi-caducifoliées sur 12 arbres répartis entre 24 et 52 cm de diamètre (Ebuy et al., 2011). Par contre, des biais importants de 10 et 40 % ont été identifiés respectivement dans les forêts sempervirentes du Ghana sur 42 arbres répartis entre 2 à 180 cm de diamètre (Henry et al., 2010) et dans les forêts de transition du Nord-Est du Gabon sur 101 arbres répartis entre 11 à 109 cm de diamètre (Ngomanda et al., 2014).

Dans une seconde approche, Feldpausch et al. (2012) ont proposé deux équations pantropicales de type « *Moist* » incorporant des données de biomasse pour 116 arbres d'Afrique tropicale dans leur construction. Une équation allométrique pantropicale à deux prédicteurs, le diamètre et la densité du bois et une autre équation à trois prédicteurs, le diamètre, la densité du bois et la hauteur totale ont été établies.

Enfin, Chave et al. (2014) ont récemment effectué une révision des équations allométriques pantropicales en intégrant les données de biomasse pour 4 004 arbres dont 1 006 arbres d'Afrique tropicale. Une équation allométrique pantropicale à trois prédicteurs (diamètre, hauteur totale et densité du bois), valable pour tous les types de forêts tropicales (équation 3) et une équation dépendant du diamètre, de la densité du bois et d'un facteur de stress environnemental ont ainsi pu être établies.

En Afrique tropicale, les équations de Feldpausch et al. (2012) ont été utilisées dans les travaux de Slik et al. (2013) et celles de Chave et al. (2014) dans les travaux de Doetterl et al. (2015) en RDC, de Lung et al. (2015) au Kenya et de Fayolle et al. (2016) au Cameroun. Les équations allométriques développées par Chave et al. (2014) (équations 3 et 4) sont plus performantes et robustes que les équations allométriques développées par Feldpausch et al. (2012) (équations 1 et 2) et l'utilisation de ces équations (3 et 4) conduit à une précision de 90

% dans les estimations de la biomasse à l'échelle de 0,25 ha dans les forêts tropicales humides (Chave et al., 2014).

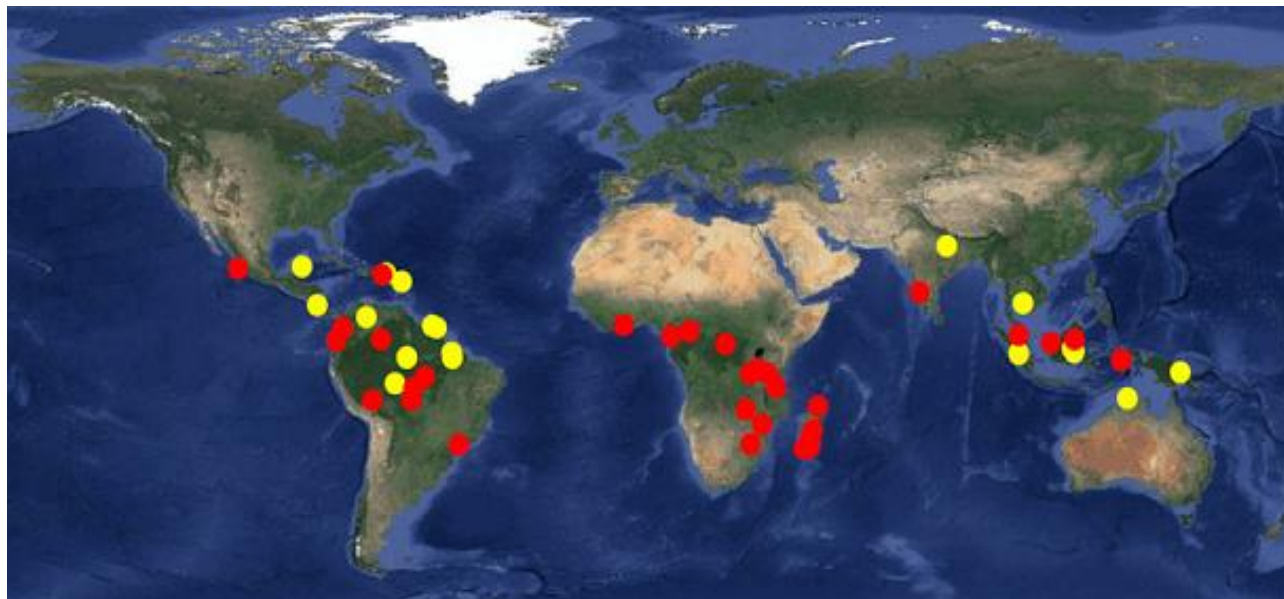


Figure 2. 3 - Geographical locations of the study sites. Yellow circles indicate 20 studies included in Chave et al. (2005) ; red circles indicate 38 sites added to the present study. (Color in the online version)

2.9 - Suivis de la couverture et de la dégradation forestière

Les observations faites par le SIG permettent d'obtenir des images satellitaires ; outils essentiels pour le suivi de la dynamique des forêts (déforestation, dégradation, fragmentation). Elles sont assurées par les satellites Landsat, ASTER, MODIS, CBERS, SPOT, etc. Des images de très hautes résolutions sont obtenues par les satellites : Ikonos, Quikbirds, Worldwiew 1 -2, RapidEye, GeoEye/Orbview, etc pour la validation des observations sur terrain. Ces différents suivis nous permettent d'aboutir aux indices de végétation (Julien Morel, 2014).

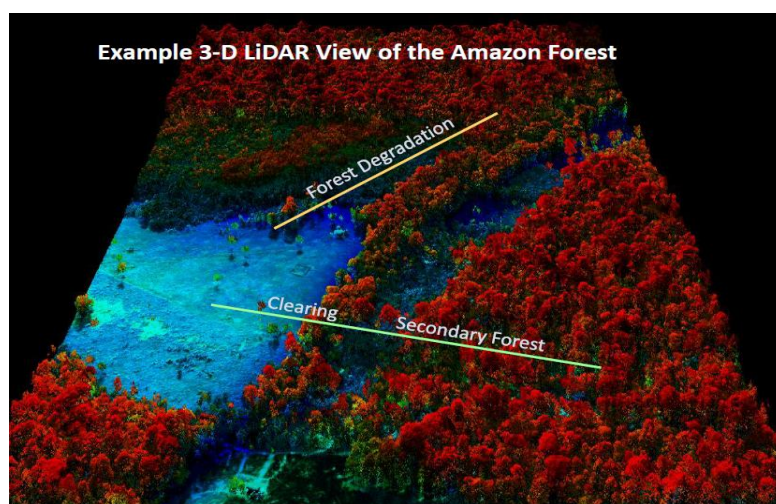


Figure 2. 4 - Suivis de la couverture et de la dégradation forestière par observation satellite sous PIR (A. RAZAGUI et N.E.I BACHARI, 2016)

Les technologies d’observation de la Terre offrent des opportunités sans précédent pour moderniser les dispositifs nationaux de suivi et améliorer les capacités des pays pour mesurer efficacement tous les indicateurs de développement durable. En effet, depuis une dizaine d’années, avec l’accès aux données satellitaires sur des plateformes et des outils de traitement, les Systèmes d’Observation de la Terre et d’Information Géographique présentent un intérêt croissant dans le domaine de la recherche scientifique en général et en particulier le suivi des modifications de l’environnement, les effets du changement climatique (Picard N., Saint-André L. & Henry M., 2012).

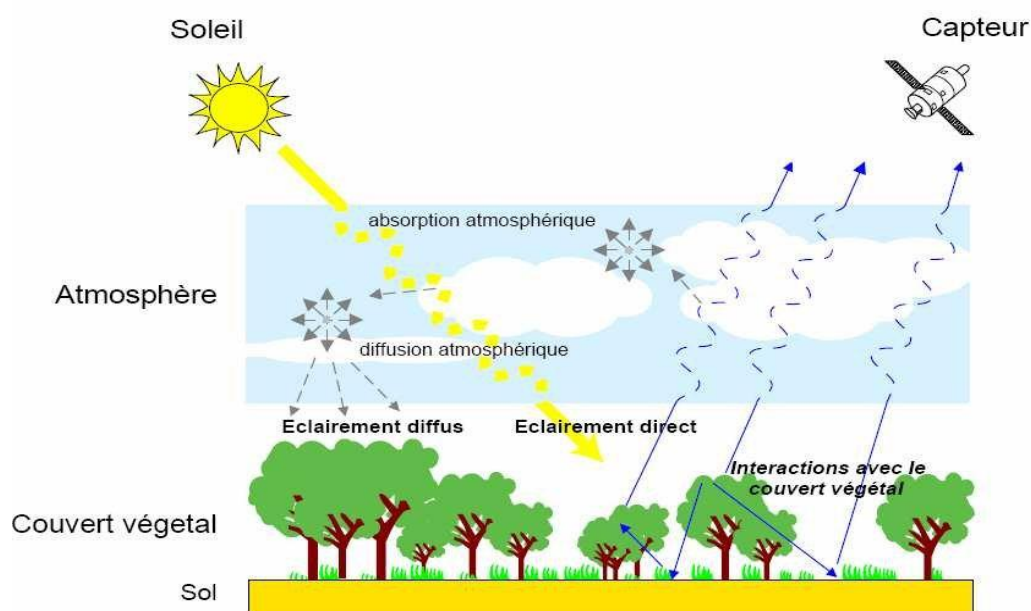


Figure 2. 5 - Principe de la télédétection (Anass MARZOUKI et al, 2014)

Cet aspect est particulièrement crucial pour les pays en développement, qui bien souvent, manquent de moyens de suivi de leurs objectifs nationaux et engagements internationaux, dont notamment les Objectifs de Développement Durable (ODD). Le suivi et la mesure des progrès des pays vers ces objectifs requièrent des données de qualité,

actualisées, reconnues et accessibles : les données d'observation spatiale sont reconnues comme une des sources majeures, tandis que celles radiométriques utilisées sont obtenues avec les satellites et leurs capteurs qui mesurent l'énergie réfléchie et émise dans le visible et l'infrarouge au moyen des canaux.

2.10 - Les Indices de Végétation (IV)

Les indices de végétation sont obtenus à partir du principe de réflectance dans le PIR et le R entre les couverts végétaux et les sols nus. Le tableau ci-dessous définit et caractérise les différents types d'Indices de Végétation.

Tableau 2. 3 - Indices de végétation (IV) (J. MOREL et al 2009)

Nom	Acronyme	Formule	Référence
Ratio vegetation Index	RVI	$\rho_{PIR} - \rho_{rouge}$	Birth et McVey (1968)
Normalized Difference vegetation Index	NDVI	$\frac{(\rho_{PIR} - \rho_{rouge})}{(\rho_{PIR} + \rho_{rouge})}$	Rouse et al. (1974)
Tranformed vegetation Index	TVI	$\overline{NDVI} + 0,5$	Deeng et Rouse (1975)
Difference Végétation Index	DVI	$(\rho_{PIR} - \rho_{rouge})$	Turcker (1979)
Soil Adjusted Végétation Index	SAVI	$\frac{1 + L(\rho_{PIR} - \rho_{rouge})}{\rho_{PIR} + \rho_{rouge} + L}$	Huette (1988)
Végétation Index Green	VIg	$\frac{(\rho_{vert} - \rho_{rouge})}{(\rho_{vert} + \rho_{rouge})}$	Gitelson et al.(2002)

La biomasse sèche aérienne est calculée d'après l'équation de MONTEITH (1972) :

$$Baer = \int_{t_0}^t R_g \epsilon_c \epsilon_i \epsilon_b dt \quad , \quad (2.5)$$

Où B_{aer} - la quantité de matière végétale produite au-dessus du sol ($g\ m^{-2}$) durant la période comprise entre t et t_0 , R_g est le rayonnement global incident ($MJ\ m^{-2}$) ; ϵ_c est l'efficacité climatique, ϵ_i - est l'efficacité d'interception, et ϵ_b - est l'efficacité de conversion du rayonnement intercepté en biomasse aérienne sèche ($g\ MJ^{-1}$).

2.11 - Les capteurs de Télédétection

Compte tenu de l'étendue des forêts tropicales ainsi que de la difficulté d'accès, les méthodes de télédétection sont depuis longtemps considérées comme des outils essentiels pour produire des cartes de biomasse à plus ou moins grande échelle (Gibbs et al., 2007 ; Clark et al., 2012). Actuellement, les principaux outils de télédétection utilisés pour la cartographie de la biomasse en Afrique tropicale sont : les capteurs optiques, le RADAR (*Radio Detection And Ranging*) et le LiDAR (*Light Detection and Ranging*).

Les données optiques les plus couramment utilisées pour estimer la biomasse sont les images Landsat (Avitabile et al., 2012), SPOT (Satellites Pour l'Observation de la Terre) (Verhegghen et al., 2012) et MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*) (Baccini et al., 2008). Une haute résolution spatiale des capteurs optiques augmente la précision des estimations de la biomasse.

Le problème majeur serait la forte présence de nuages sous les tropiques qui limite le nombre déjà faible d'images de haute résolution disponibles (Gibbs et al., 2007 ; Goetz et al., 2009). Les images de très haute résolution spatiale (Quickbird, GeoEye) peuvent également être utilisées pour estimer les stocks de carbone forestier avec une faible erreur sur des zones relativement restreintes (Bastin et al., 2014).

À large échelle, l'utilisation du RADAR semble prometteuse pour la cartographie de la biomasse en raison de sa capacité à pénétrer le couvert forestier à une certaine profondeur (Goetz et al., 2009).

Tableau 2. 4 - Caractéristiques de quelques satellites de Télédétection

Satellite	Capteur	Résolution spectrale		Résolution spatiale mètres	période de revisite (nombre de jour)	Taille d'une image (kilomètres)	Prix	
		Spectre mesuré	Nombre de canaux				Image (Euros)	10km ² (Euros)
EOS AM-1	Modis	0.62 – 0.87 µm	2	250	1 - 2	1100 × 1100	gratuite	-
		0.45 – 0.56 µm	2	500				
		1.23 – 2.15 µm	3	500				
		0.40 – 14.3 µm	29	1000				
	Aster	0.52 – 0.86 µm	3	15	16*	60 × 60	80	0.20
		1.60 – 2.43 µm	6	30				
8.13 – 11.7 µm		5	90					
Landsat 7	ETM+	Pan	1	15	16	185 × 185	684	0.20
		0.45 – 2.35 µm	6	30				
		10.4 – 12.5 µm	1	90				
Spot 4	HRVIR	Pan	1	10	26*	60 × 60	2600	7.2
		0.50 – 1.75 µm	4	20			2600	7.2
Ikonos	Ikonos	Pan	1	1	Sur demande		-	34
		0.45 – 0.88 µm	4	4			-	
QuickBird	QuickBird	Pan	1	0.7	Sur demande		-	28
		0.45 – 0.90 µm	4	2.8			-	

Tableau 2. 5 - Estimation de la biomasse aérienne total pour les différents types de forêts tropicales africaines par Télédétection (Ioubot Panzou G.J Doucet J.L et al, 2016)

Type de forêt	Localité	Pays	Echantillonnage Taille (ha)	n	Seuil diamètre arbres (cm)	de des Biomasse (Mg.ha ⁻¹)	Référence
Forêt mono-dominante	Dja	Cameroun	1	5	$D \geq 10$	596 ± 62	Djuikouo et., 2010
	Ituri	RDC	10	2	$D \geq 1$	535	Makana et al., 2011
	Yangambi	RDC	1	5	$D \geq 10$	331 ± 28	Kearsley et al., 2013
Forêt mixte	Dja	Cameroun	1	5	$D \geq 10$	402 ± 58	Djuikouo et al., 2010
	Ituri	RDC	10	2	$D \geq 1$	399	Makana et al., 2010
	Yangambi	RDC	1	8	$D \geq 10$	321 ± 48	Kearsley et al., 2013
Forêt mature	Kakamaga	Kenya	0,04	46	$D \geq 5$	498 ± 45	Glenday, 2006
	Yangambi	RDC	1	1	$D \geq 10$	163	Kearsley et al., 2013
Forêt jeune	Kakamaga	Kenya	0,04	16	$D \geq 5$	202 ± 40	Glenday, 2006
	Yangambi	RDC	1	3	$D \geq 10$	37 ± 4	Kearsley et al., 2013
Forêt semi-caducifoliée sur sols riches	Sud-Est	RCA	0,5	324	$D \geq 20$	248 ± 10	Gourlet-Fleury et al., 2011
Forêt semi-caducifoliée sur sols pauvres	Sud-Est	RCA	0,5	101	$D \geq 20$	198 ± 18	
Forêt semi-caducifoliée (exploité)	M'Baïki	RCA	4	3	$D \geq 10$	375 ± 58	Gourlet-Fleury et al., 2013
Forêt semi-caducifoliée (exploité + éclaircie)	M'Baïki	RCA	4	4	$D \geq 10$	356 ± 64	
Forêt semi-caducifoliée (non exploité)	M'Baïki	RCA	4	3	$D \geq 10$	375 ± 40	
Forêt semi-décidue	Mindourou	Cameroun	0,5	5152	$D \geq 10$	348	Fayolle et al., 2016

Forêt sempervirente	Ma'an	Cameroun	0,5	2101	$D \geq 10$	260	
Forêt naturelle	Hawassa	Ethiopie	0,12	10	$D \geq 5$	200	Wondrade et al., 2015
Forêt de plantation	Hawassa	Ethiopie	0,12	38	$D \geq 5$	223	Wondrade et al., 2015
Forêt semi-décidue mixte	Yangambi	RDC	1	5	$D \geq 10$	326 ± 38	Doetterl et al., 2015
	Yoko	RDC	1	5	$D \geq 10$	382 ± 56	
Agro-forêt	Campo-Ma'an	Cameroun	0,5	8	$D \geq 5$	231 ± 45	Djomo et al., 2011
Forêt de production	Campo-Ma'an	Cameroun	0,5	8	$D \geq 5$	283 ± 51	
Forêt de protection	Campo-Ma'an	Cameroun	0,5	8	$D \geq 5$	278 ± 48	
Forêt secondaire	Lesio-louna	Congo	0,12	3	$D \geq 10$	167 ± 15	Ekoungoulou et al., 2015
Forêt de galerie	Lesio-louna	Congo	0,12	3	$D \geq 10$	92 ± 29	

CHAPITRE III - OUTILS ET METHODES

Ce chapitre présente les outils et les méthodes qui ont permis d'effectuer les travaux de recherche dans les différentes zones : Station Scientifique de Mont Nimba, Centre forestier de N'Zérékoré et la Station Scientifique de la Forêt classée de Ziama. Il est important de rappeler que de tout temps, la forêt, les arbres et le bois ont constitué une ressource pour l'Homme.

Les fonctions des forêts sont multiples (*production d'une ressource renouvelable, protection des sols, de l'eau, de la diversité biologique et génétique herbacée*) et jouent un rôle économique, social, récréatif, stockage du carbone. Tandis que les arbres jouent un rôle majeur dans la structure des écosystèmes forestiers (*des organismes les plus grands et plus durables : la strate arborée détermine fortement les conditions de vie (abri, lumière, microclimat)*) et de toutes les autres espèces forestières, végétales et animales.

Ce sont tant de raisons qui amènent à s'interroger sur les facteurs qui déterminent leurs dimensions, leur croissance, leur production et sur les outils qui peuvent aider à en assurer une gestion multifonctionnelle et durable, notamment dans un contexte de changements climatiques, mais aussi technologiques, économiques et sociétaux. L'étude des outils et des méthodes de mesure des arbres est l'objet de ce présent chapitre.

3.1 - Outils de mesure des paramètres biophysiques des essences forestières

L'inventaire du matériel de collecte des données des espèces forestières se présente comme suit :

- Le décamètre (50m de long) : sert à mesurer la circonférence des arbres ;
- Le rélascope de **BITTERLICH** : permet de déterminer la hauteur des arbres et d'en déduire le volume ;
- Le dendromètre Suunto : permet de mesurer l'altitude des arbres ;
- La boussole : permet l'orientation de la parcelle à inventorier ;
- Le G P S : permet de déterminer les coordonnées (altitude et longitude) de la parcelle à inventorier ;
- L'appareil photographique : est utilisé pour la prise des photos sur le terrain ;
- La jumelle : permet d'identifier les feuilles des espèces de haute taille ;
- Le ruban : permet l'estimation d'une surface (parcelle) ;
- Le cordeau : permet de délimiter la parcelle ;

Nous nous limiterons ici à étudier les principaux moyens de mesure de la hauteur des arbres. Nous les classerons en deux catégories pour déduire deux méthodes :

- ✓ Par procédés simples qui consistent à faire une mesure directe ;
- ✓ Par utilisation de dendromètres.

3.2 - Mesures de la hauteur

- **La croix du bûcheron**

Constitue une application directe des relations existant entre triangles semblables. On peut mettre ce procédé en œuvre au moyen de deux baguettes d'égales longueurs, l'une tenue à hauteur des yeux et dirigée parallèlement au sol, l'autre tenue au bout de la première et verticalement ou parallèle à l'arbre. L'opérateur se rapproche où s'éloigne de l'arbre à mesurer de telle manière qu'il puisse apercevoir simultanément le pied de celui-ci (niveau du sol) en visant la base de la baguette verticale et son sommet en visant l'extrémité supérieure de cette même baguette. La hauteur de l'arbre correspond alors à la distance d'éloignement de l'opérateur, le plus souvent celle-ci est mesurée au pas.

$$SP = AS + AP = \frac{OA \times BE}{OE} + \frac{EC \times OA}{OE} = \frac{OA}{OE} \times (BE + EC) \quad (3.1)$$

Avec

$$SP = \frac{OA}{OE} \times BC \quad OE = BC \quad SP = OA = h \quad (3.2)$$

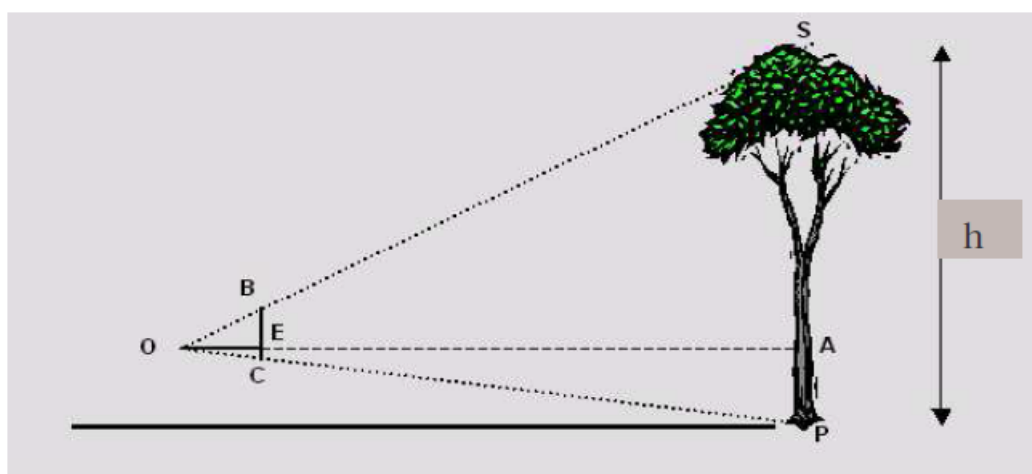


Figure 3.1 - Principe de la croix du bûcheron

- **Utilisation de perches de référence**

Le principe est ici encore simple. L'opérateur tient verticalement à hauteur de ses yeux une règle graduée devant l'arbre à mesurer. En visant l'arbre, la graduation 0 de la règle doit correspondre à la base de l'arbre. Il suffit ensuite de lire :

- ✓ La graduation correspond à la visée du sommet de la perche (*on obtiendra a qui sera la hauteur apparente de la perche mesurée sur la règle*) ;

- ✓ Lecture de la graduation correspondant au niveau supérieur délimitant la hauteur. **H** à mesurer sur l'arbre (on aura a+b qui sera la hauteur apparente de H).

La hauteur H de l'arbre sera donnée par :

$$H = \frac{h}{a}(a + b). \quad (3.3)$$

Le dendromètre de Christen, employé de nos jours, repose sur ce principe.

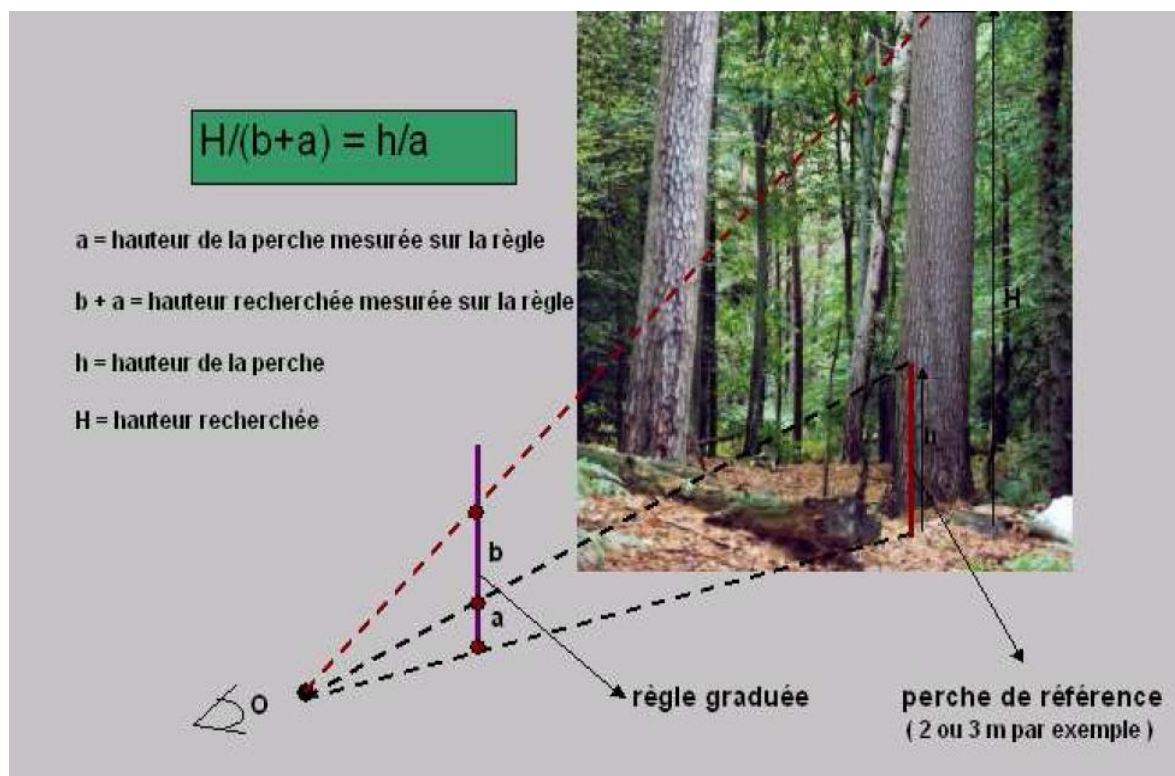


Figure 3. 2 - Utilisation de perche de référence pour la mesure de hauteur

3.4 - Dendrométrie

La dendrométrie regroupe les connaissances scientifiques, techniques et statistiques développées pour mesurer la hauteur des arbres. Elle permet d'évaluer quantitativement le volume de bois ou la biomasse d'un peuplement forestier (*forêt naturelle ou de plantation*). Sur un arbre, on mesure classiquement le **diamètre** (à 1,30 m au-dessus du sol, par convention internationale) et la **hauteur** totale (*jusqu'à la cime*) : c'est ce qui est le moins difficile et le plus important pour estimer le volume de bois pour les usages traditionnels.

L'intérêt accru pour la biomasse (*bois énergie, estimation du carbone stocké*) conduit à des mesures qui concernent l'ensemble de la partie aérienne, parfois en incluant le feuillage, ou même les parties souterraines. En gestion, volume et biomasse d'un individu sont estimés de préférence à partir de relations statistiques (« *tarifs de cubage* ») établies sur des échantillons représentatifs de la gamme de variabilité rencontrée pour une espèce, et une région.

Pour un peuplement d'une forêt, l'estimation se fait généralement sur la base d'un inventaire statistique : typiquement, une grille de placettes sur chacune desquelles sont mesurés le diamètre des arbres et la hauteur de certains ; ce qui permet de cumuler les estimations individuelles de volume ou biomasse. Au niveau national, la ressource est évaluée selon le même principe général par l'inventaire forestier national. **L'âge** est connu dans le cas d'une plantation référencée, ou de peuplements renouvelés par une régénération naturelle par semis sur une période courte ou encore par une coupe de taillis simple.

Parmi ces dendromètres dont la plupart nécessitent que l'observateur se place à une distance prédéterminée de l'arbre, il convient de signaler le BLUME-LEISS, le SUUNTO, le relascope de BITTERLICH et le dendromètre électronique VERTEX. Il est également possible d'utiliser le clinomètre ou clisimètre, appareil mesurant des angles, mais ne nécessitant pas que l'opérateur soit situé à une distance connue de l'arbre à mesurer.

Nous envisagerons ici en détail les principes de fonctionnement et l'utilisation du Blume-Leiss, du Suunto, du relascope de Bitterlich et du Vertex. Le principe d'utilisation de ces dendromètres repose sur la mesure d'angles, à partir de laquelle on peut écrire les relations suivantes :

$$h = SA + AP = L(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2), \quad (3.4)$$

Où L - distance d'éloignement de l'opérateur par rapport à l'arbre à mesurer ;

α_1 et α_2 - angles de visée correspondant successivement au sommet et au pied de l'arbre.

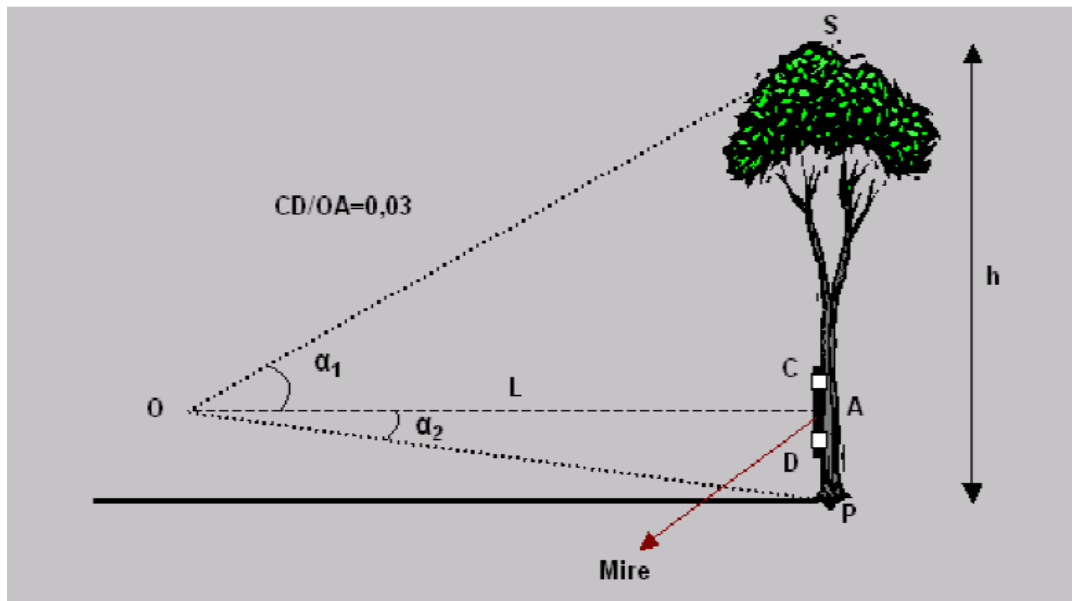


Figure 3.3-Principe de la mesure de la hauteur au moyen d'un dendromètre trigonométrique

- **Le dendromètre BLUME-LEISS**

Ce dendromètre très pratique se présente sous la forme d'un boîtier en quart de cercle comprenant un clisimètre muni d'un pendule que l'on bloque manuellement lors de la visée devant 5 échelles graduées, 4 en hauteurs (*correspondant à des distances de stationnement de 15, 20, 30 et 40 m*) et une en degrés. Il est très souvent utilisé dans les travaux de dendrométrie.



Figure 3. 4 - Dendromètre BLUME-LEISS

- **Le dendromètre SUUNTO**

Ce dendromètre, d'origine finlandaise, se présente sous la forme d'un boîtier présentant sur une des faces latérales, une fenêtre circulaire transparente éclairant l'intérieur de l'appareil et

permettant de distinguer un disque oscillant autour d'un axe horizontal. Cette même face comporte également un œilleton de visée (*viseur dioptrique*) destiné à effectuer des mises à distance par l'intermédiaire d'une mire pliante identique à celle utilisée avec le BLUME LEISS.

Contrairement au BLUME-LEISS, le SUUNTO comporte uniquement deux échelles de lecture (15 ou 20 m) et une échelle de pente exprimée en degrés ou en pour-cent. Pour des distances d'éloignement de 30 ou 40 m, il faut donc multiplier par deux les résultats lus sur les échelles de 15 ou 20 m.



Figure 3. 5 - Dendromètre SUUNTO

- **Le Relascope de BITTERLICH**

Cet appareil est conçu par le forestier autrichien Bitterlich. Il permet de mesurer les diamètres à des hauteurs diverses, les hauteurs, le coefficient de forme, la surface terrière d'un peuplement et les pentes. En outre, il permet également de déduire le volume d'un arbre.

- **Le dendromètre électronique VERTEX**

Le dendromètre Vertex est un appareil suédois de conception récente reposant sur le même principe trigonométrique de la croix du bucheron que nous avons exposé ci-dessus. Il se compose de deux unités : le dendromètre lui-même (*récepteur d'ultrasons*) et d'un transpondeur (« *Mire* », *émetteur d'ultrasons*, à placer sur l'arbre à mesurer).



Figure 3. 6 - Vertex et transpondeur

Lors de la réalisation des mesures de hauteurs d'arbres, cet appareil permet au forestier de s'affranchir de deux contraintes importantes rencontrées lors de l'utilisation du Suunto et du Blume Leiss, à savoir :

- ✓ L'obligation de choisir une distance de mesure, dans une palette peu fournie (15, 20, 30 ou 40 m), qui ne coïncide pas forcément avec une position judicieuse pour les visées ;
- ✓ La nécessité d'une correction après la mesure quand la ligne de visée de la mire n'est pas horizontale. En effet, lors de la mesure de hauteur d'un arbre, l'appareil intègre dans les calculs de hauteurs qu'il exécute, la distance horizontale qui sépare l'opérateur de la mire (*transpondeur*). Cette distance horizontale est calculée par l'appareil lors de la visée du transpondeur depuis le point de station.

3.5 - Mesure du diamètre

Le diamètre des arbres abattus ou sur pied peut être mesuré avec le compas forestier : le compas finlandais, le pentaprisme ou le relascope de Bitterlich.

- **Le compas forestier**

Ce compas mesure le diamètre d'un arbre sur pied. Il est constitué d'une règle graduée et de deux bras parallèles : l'un fixe et l'autre coulissant. Le compas doit entrer et tenu perpendiculairement à l'axe de l'arbre, le bras fixe et la règle accole au tronc, pour glisser ensuite le bras coulissant contre le tronc. Le bras coulissant doit glisser aisément tout en restant strictement perpendiculaire à la règle.

La mesure se fait généralement au centimètre près (*arrondir au centimètre le plus proche*). Certains compas appelés compas forestiers compensés, portent sur la règle, une graduation en classes de diamètres de 5 en 5 cm (*ex : la classe des 10 cm comprend les arbres allant de 7,5 cm à 12,5 cm,*). Des graduations en circonférences ou en classes de circonférences peuvent également figurer sur la règle.

Notons que le fût des arbres n'est pas toujours d'une section bien circulaire : le diamètre est variable selon son orientation et l'on ne peut alors se contenter d'une seule mesure. Il existe actuellement des compas munis d'un système d'enregistrement automatique de la mesure.



Figure 3. 7- Compas forestier classique



Figure 3. 8 - Compas forestier digital

Il faut alors, autant que possible, mesurer le diamètre minimum et le diamètre maximum, le plus souvent perpendiculaires l'un à l'autre, puis adopter comme mesure de la moyenne arithmétique des deux valeurs obtenues. Une manière efficace de procéder consiste à mesurer un premier diamètre quelconque, puis un second diamètre perpendiculaire au premier, ce qui conduit à une valeur moyenne tout à fait valable.

- **Le compas parabolique finlandais**

Ce compas mesure le diamètre à divers niveaux d'un arbre sur pied. Il comporte deux bras fixes, l'un droit, l'autre courbe (*parabolique*) présentant des graduations centimétriques bicolores. L'appareil peut être fixé sur des tiges emboîtables, de manière à pouvoir effectuer la mesure du diamètre jusqu'à environ 8 à 10 m du sol (*voire plus si l'on utilise des jumelles pour la lecture*). Il se tient perpendiculairement au tronc de l'arbre et la lecture s'effectue en regard de la ligne de visée parallèle au bras rectiligne du compas et tangente à l'arbre.

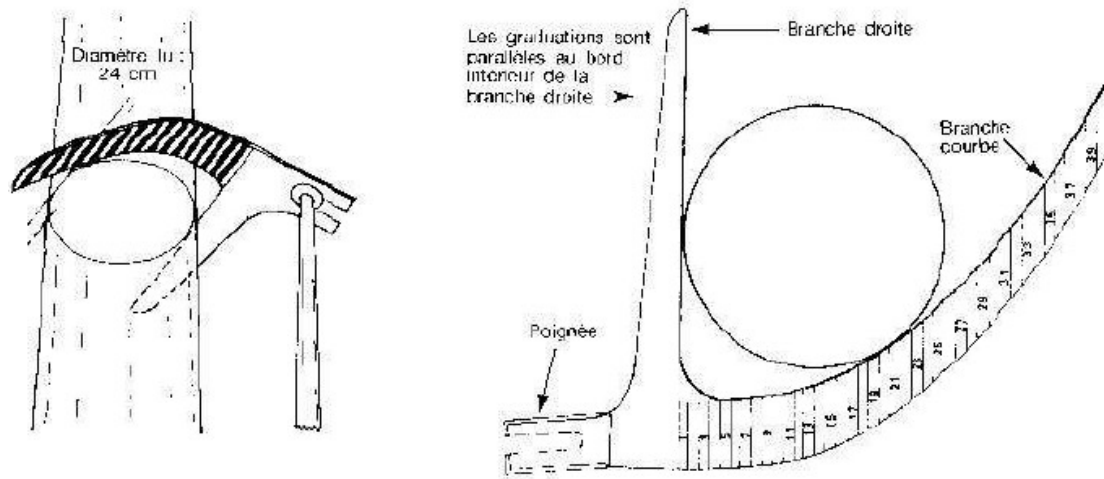


Figure 3. 9 - Compas parabolique finlandais

- **Le Pentaprisme de Wheeler**

Il permet également la mesure du diamètre à divers niveaux d'un arbre sur pied. Il s'agit d'un appareil à prismes optiques disposés de telle manière que l'image de la cote droite du tronc fournie par un prisme mobile puisse être en coïncidence avec l'image de la cote gauche de ce tronc fournie par un prisme fixe.

La lecture s'effectue sur une règle graduée, en regard d'un curseur solidaire du déplacement du prisme mobile. Le pentaprisme permet de mesurer des diamètres à partir de n'importe quelle distance d'éloignement de l'arbre. Pour connaître la hauteur à laquelle on mesure le diamètre, il est possible de coupler le pentaprisme à un clinomètre (*mesureur d'angles*). A ce moment, il sera conseillé, pour des raisons de précisions de mesure, de fixer l'appareil sur un trépied.

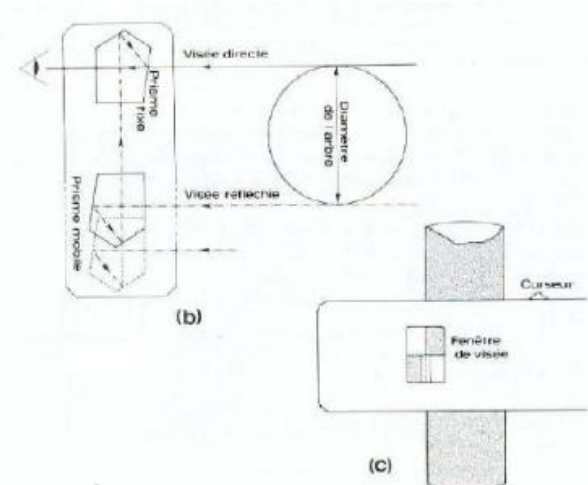
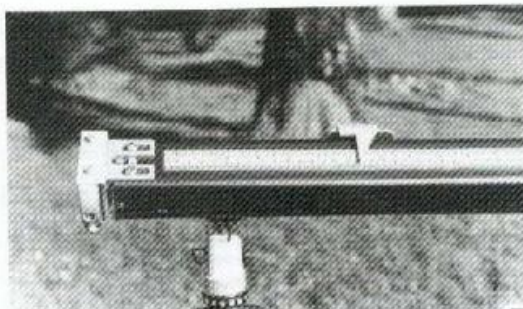


Figure 3. 10 - Pentaprisme de Wheeler couplé à un clinomètre

3.6 - Mesure de la circonférence

La mesure de la circonférence s'opère généralement à l'aide d'un ruban, si possible indéformable, à trame métallique ou mieux en fibre de verre. Ce ruban (*de 1,5 m ou de 3 m*) permet la mesure à tout niveau ; la mesure à hauteur d'homme étant considérée à 1,3 m (*1,5 m dans certains pays*).

En ce qui concerne la mesure de circonférence à divers niveaux d'arbres abattus, plus spécialement situés sur parterres de coupes, l'utilisation du ruban n'est pas toujours possible ; il est alors d'usage de recourir à la ficelle du marchand de bois (*aiguille métallique courbe fixée à une ficelle dont on mesure la longueur ayant été nécessaire pour ceinturer l'arbre*).

- **Remarques**

Le ruban est dans certains cas plus simple à manipuler, il s'impose plus spécialement dans le cas de très gros arbres pour lesquels on fait recours à des grands compas qui sont en réalité encombrants. Dans le cas d'arbres présentant des convexités, l'utilisation d'un cercle comme forme de référence a pour effet de surestimer la surface terrière réelle de l'arbre.

Dans le cas de l'estimation à distance de la grosseur d'un arbre, l'emploi du diamètre est plus facile que celui de la circonférence (*il est plus facile de se représenter à l'esprit la grosseur d'un arbre en employant la notion de diamètre*).

3.7 - Présentation de la zone d'études

3.7.1 - Aspect physique

La Guinée forestière se trouve à l'extrémité occidentale de la grande forêt humide guinéo-congolaise et est située entre 7°50' et 10°33' de longitude Ouest et 7°27' et 8°90' de latitude Nord. Elle couvre une superficie de 49374 km² (soit 20 % de la superficie totale du pays) et dominée par le point culminant de la Guinée (Mont Nimba 1752 m). elle est traversée par la dorsale guinéenne, des massifs et bas-fonds forment son relief assez marqué et tourmenté par la juxtaposition des massifs élevés aux versants abrupts (*Mont Simandou et Mont Nimba*) suivi des bas plateaux, des plaines, des bas-fonds et des vallées inondables.

Le relief de cette région est constitué particulièrement de collines dont l'altitude varie de 400 à 800 m. Les plus hauts sommets ne dépassent pas 2000 m : on observe le massif du Ziama (800 à 1300m), le pic de Fon Simandou (1000 à 1400 m) et les Monts Nimba, qui culminent à 1752 m. Dans la région de N'Zérékoré, ce relief accidenté de collines et de dépressions

profondes délimite des bas-fonds souvent encaissés et étroits où les eaux circulent de façon irrégulière.

Elle est limitée au Nord par la Haute Guinée, au Sud par la République du Liberia, à l'Est par la République de la Côte d'Ivoire, à l'Ouest par la République de la Sierra Léone ; composée des préfectures de Nzérékoré, de Macenta, de Lola, de Beyla, de Guékédou et de Yomou.

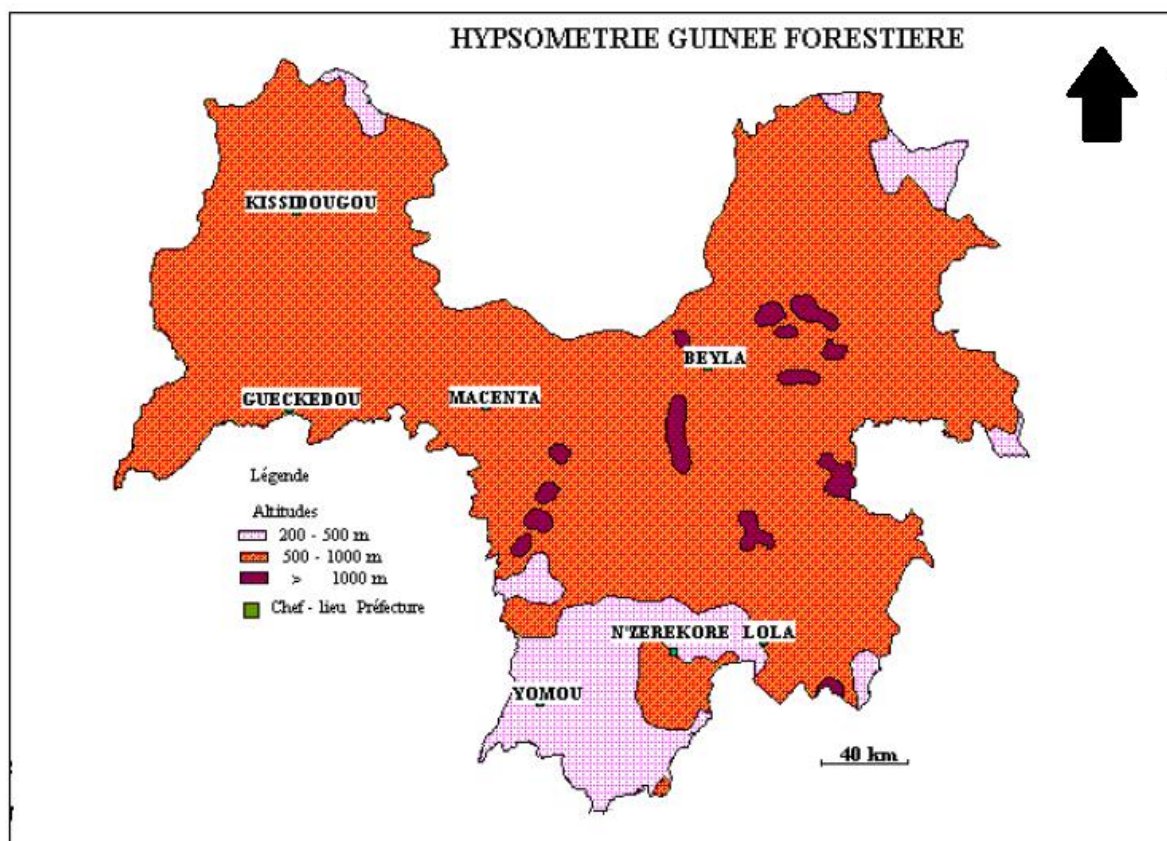


Figure 3. 11- Carte de localisation du relief de la GF

3.7.2 – Aspect climatique

Cette région forestière est caractérisée par un climat *tropical* humide de type subéquatorial humide avec des variantes liées à l'altitude, avec une longueur et exceptionnelle saison des pluies (*entre huit et neuf mois*). On observe dans cette région :

- ✓ Une moyenne de sept à douze mois avec des précipitations supérieures à 100 mm ;
- ✓ Moins de deux mois avec des précipitations inférieures à 30 mm.

Elle enregistre des précipitations annuelles entre les isohyètes de 1810 et 2893 mm/an et l'indice d'aridité moyen est de 1,97 (DN Météo, 2016).

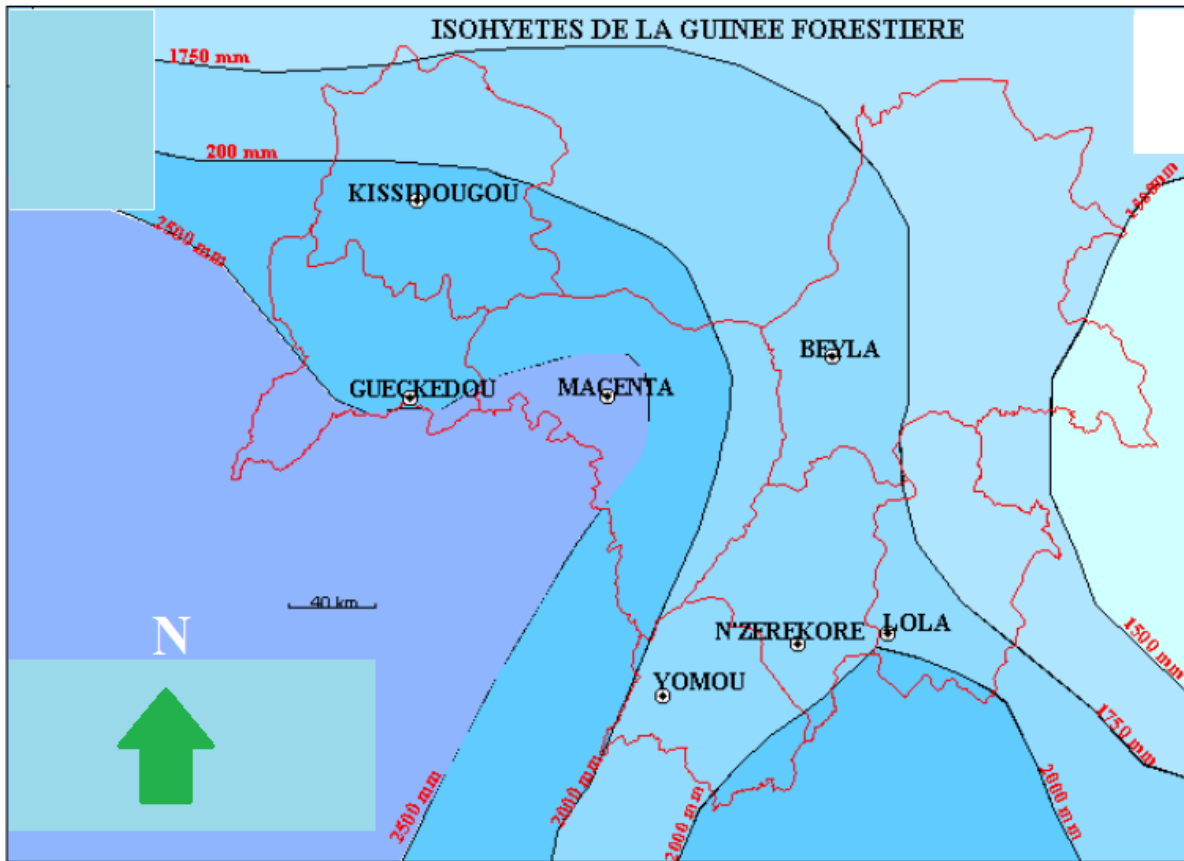


Figure 3. 12 - Les isohyètes pluviométriques de la Guinée Forestière

Les températures moyennes journalières relativement élevées et constantes (environ 25°C à N’Zérékoré), des températures maximales (entre 30 et 34°C) et minimales (15°C à 20°C) d’amplitudes modérées. Cependant, l’influence de l’altitude tend à amplifier les différences thermiques (Boulvert Y., 1992). Une saison des pluies interrompue par une saison sèche de trois mois au Nord et de 2 mois vers le Sud.

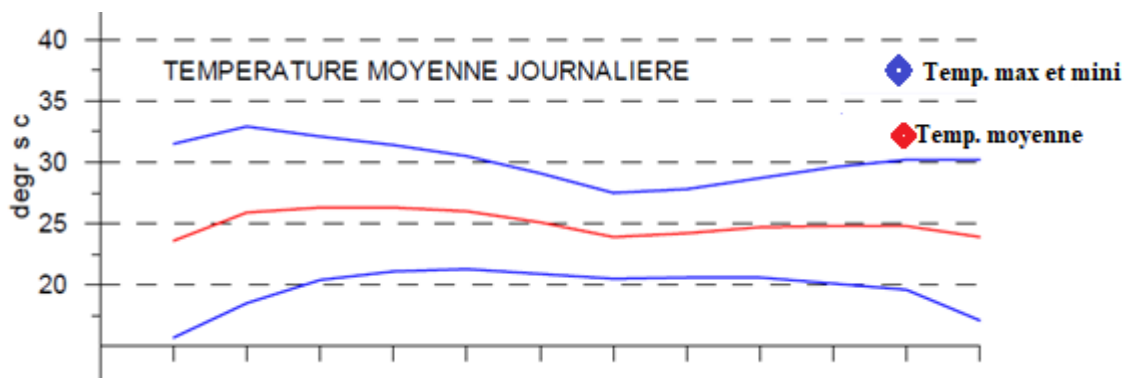


Figure 3. 13 - Variation journalière de la température en GF

La pluviométrie se rapprocherait d’un type bimodal vers le Nord (Macenta, Sérédou) avec des maximas en avril-mai et en août-septembre (cette caractéristique tendrait à s’atténuer sur la pluviométrie des 15 dernières années). Elle serait davantage monomodale vers le sud

(N’Zérékoré et Yomou) avec un seul maximum en août-septembre. Pendant ces deux mois, la pluviométrie mensuelle peut atteindre 300 à 400 mm avec des intensités relativement forte. Les précipitations annuelles atteignent en moyenne 2000 à 2500 mm selon la localité (1928 mm à N’Zérékoré).

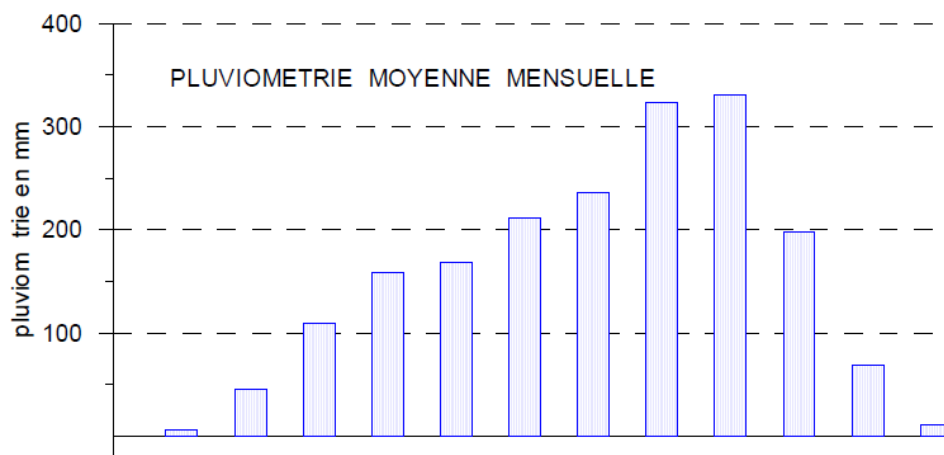


Figure 3. 14 - Variation mensuelle de la pluviométrie en GF

L’évapotranspiration (ETP) annuelle est de l’ordre de 1300 mm avec un maximum en janvier/février. La durée moyenne de la saison des pluies utile, telle que $P > ETP/2$ varie entre 271 et 290 jours. Les risques pluviométriques (stress hydrique marqué) restent relativement faibles.

Une humidité atmosphérique très constante et proche de la saturation ; elle décline un peu en saison sèche. Elle est atténuée au Nord par l’influence du climat soudanien plus sec et l’Harmattan qui souffle du Nord-Est.

Un rayonnement solaire journalier est très variable pendant l’année. La durée d’ensoleillement (seule mesure disponible) est relativement élevée en saison sèche (6 heures/jour) et tombe à moins de 3 heures/jour entre juillet et septembre.

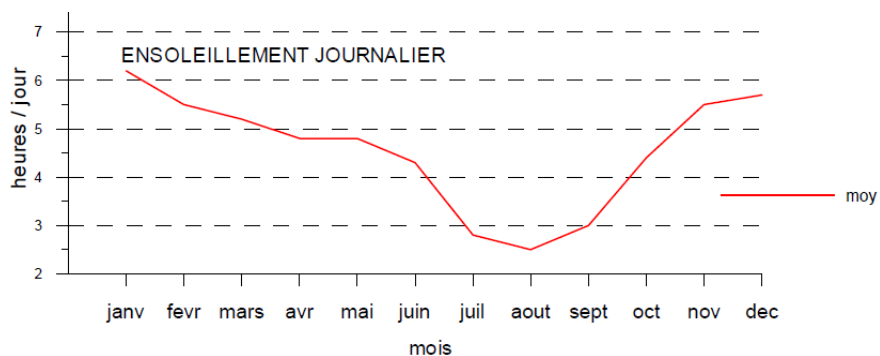


Figure 3. 15 - Variation journalière de l’ensoleillement en GF

3.7.3 – Végétation

C'est la région la plus contrastée avec des forêts denses humides de type ombrophile. La partie sud, aux nombreuses collines et avec quelques massifs importants, est assez largement et régulièrement arrosée. Elle était fortement boisée au début du siècle par une forêt dense humide semi décidue et même sempervirente. Il n'en reste, aujourd'hui que deux massifs compacts (Ziama et Diécké) et des lambeaux dispersés.

La Guinée Forestière possède environ 32% de la surface de ses forêts et sont entre autres : forêts classées (Ziama 119019 ha, Pic de Fonc 25 600 ha, Diécké 64 000 ha, Mont Béro 23 600 ha et Mont Nimba 19 500 ha), quinze (15) forêts galeries, des forêts claires, des savanes boisées et arborées. L'écosystème de forêts denses humides couvrant jadis 14 millions d'hectares ne sont aujourd'hui que 700.000 ha repartis dans les Préfectures de Guéckédou, Lola, Macenta, N'Zérékoré et Yomou.

Tableau 3. 1 - Nombre et superficie des forêts classées de l'État disposant d'un plan d'aménagement en GF.

N°	Nom de la forêt classée	Superficie (ha)	Localisation
1	Massif de Ziama	119019	Macenta
2	Mont Yonon	4750	N'Zérékoré
3	Pic de Fon	25 600	Beyla
4	Diécké	64 000	Yomou
5	Mont Béro	23 600	N'Zérékoré

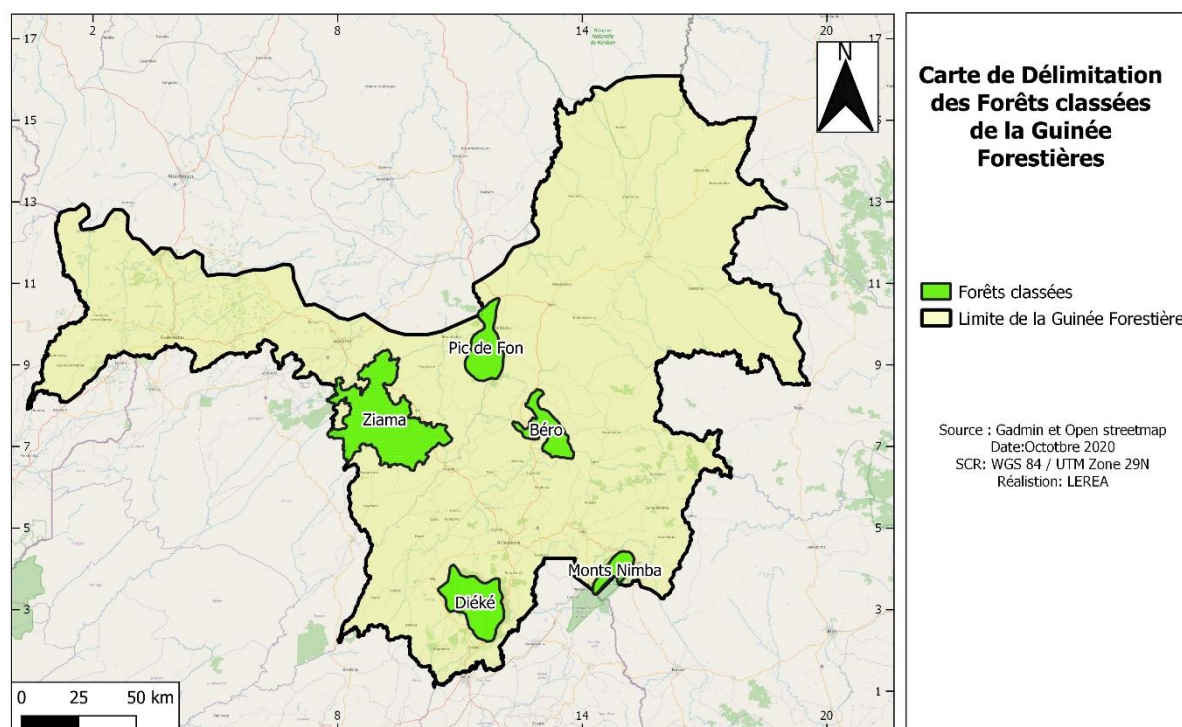


Figure 3. 16 - Carte de localisation des forêts classées GF

3.7.3 – Les forêts denses

La Guinée Forestière est la région naturelle la plus boisée avec ses massifs de forêts ombrophiles humides (287 900 ha de forêts classées) et les forêts secondaires et mésophytes qui constituent l'essentiel de la surface.

✓ Les forêts primaires

Elles constituent une richesse phylogénétique inestimable par la diversité des espèces végétales. Elles sont souvent protégées ou leur exploitation particulièrement réglementée. Il s'agit principalement des forêts classées du Ziama (112 000 ha) et celle de Diéké (64 000 ha) auxquelles il faut rajouter les forêts sacrées localisées en périphérie des villages.

✓ Les forêts secondaires (jeunes forêts de 15 à 30 ans)

Elles sont généralement issues de la recolonisation des espèces arborescentes après les cultures (jachères naturelles). Ces sont caractérisées par l'abondance de parasoliers (*Musango cecropioides*) et la présence de palmiers à huile qui constituent la strate supérieure jusqu'à l'émergence d'individus dominants. Elles concernent l'essentiel de l'espace de la Guinée Forestière.

✓ Les forêts mésophiles (savane arborée, savanes arbustives, galerie forestière)

Les forêts mésophiles sont constituées par des arbustes et arbres héliophiles clairsemés dans une végétation herbacée à dominante de graminées. Ce type de forêt occupe principalement les zones de contact forêt/savane.

✓ **Les fourrés et jachères**

Ils correspondent à des parcelles de culture laissées en jachère de régénération. Le couvert végétal y est abondant et diversifié, caractérisé par un enchevêtrement d’herbacées et d’arbustes de toutes les espèces. Ce couvert végétal se caractérise par une dominante de graminées dans le Nord (*Pennisetum purpureum* et *Imperata cylindrica*) et les zones de contact forêt/savane constituées de *Chromolena odorata* dominant largement dans la zone plus forestière.

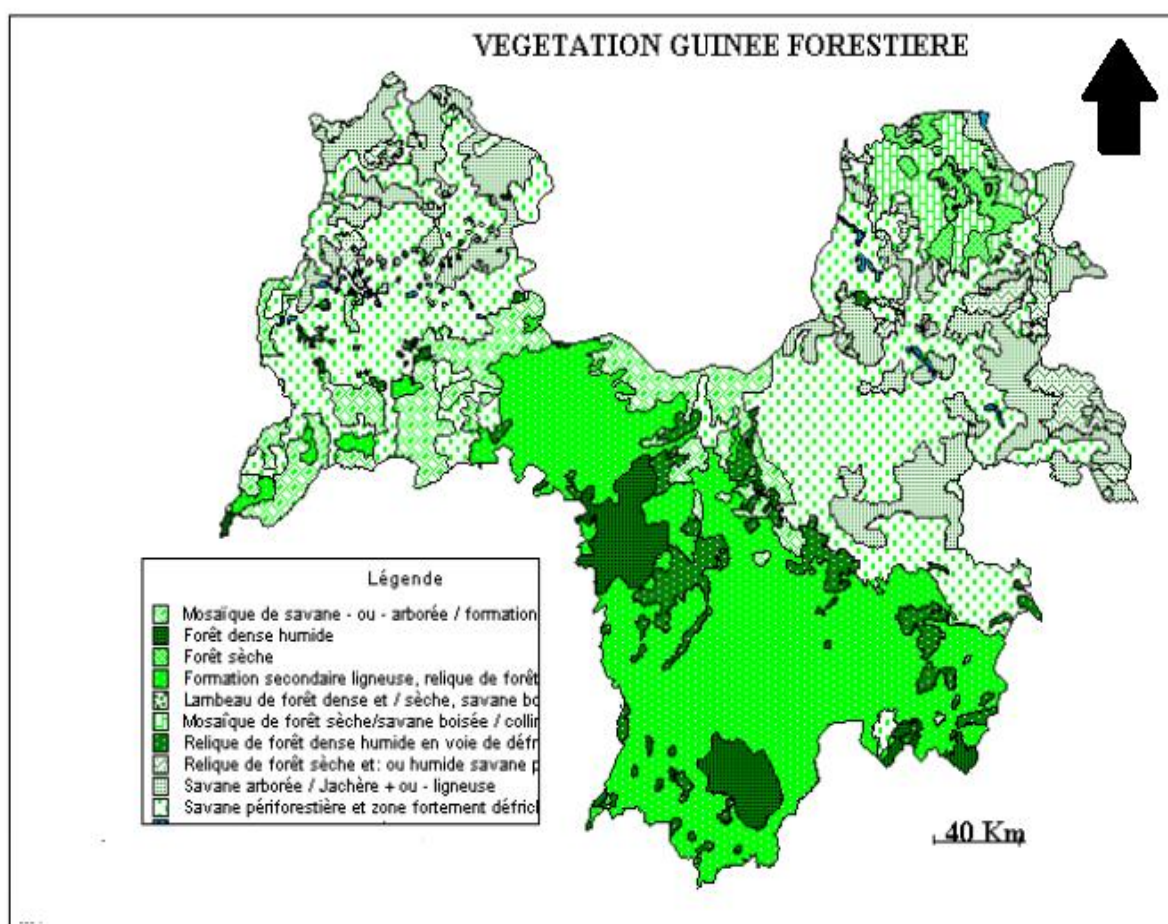


Figure 3. 17 - Carte de la végétation de la Guinée Forestière

3.7.4 – Hydrographie

Le réseau hydrographique de la GF est alimenté par des cours d’eau saisonniers et du ruissellement provenant des versants. L’espace entre les bas-fonds et les sommets des collines

(appelé localement les coteaux) est de pente d’amplitude faible au départ et devient rapidement forte. Il est constitué par les bassins versants des fleuves Diani, Loffa et **Loua** qui traversent la préfecture de Macenta et pénètrent au Libéria

La Makona naît dans le centre du massif de la Dorsale Guinéenne en Guinée Forestière en traversant les Préfectures de Macenta et Guéckédou, puis reçoit son principal affluent le **Melli**, avec qui, elle forme en Sierra Leone la **Moa** tandis que le **Cavally** traverse la Préfecture de N'Zérékoré et délimite dans son cours moyen et inférieur la Côte d'Ivoire et le Libéria, le **Gouan**, le **FéréDougoubo** traversent la Préfecture de Beyla et forment en Côte d'Ivoire une partie du réseau de la **Sassandra** et enfin le **Oulé** et le **Nyé** traversent la Préfecture de Yomou et pénètrent également au Libéria. Voir le tableau ci-dessous avec les caractéristiques physiques

Tableau 3. 2 - Caractéristiques physiques des bassins fluviaux de GF

N°	Bassins fluviaux	Superficie du bassin versant (km ²)	Long (km)	Volume annuel (10 ⁶ m ³)	Bassins transfrontaliers et pays riverains en aval
1	Diani	9333	246	7947	Liberia
2	Sassandra	10839	87	7032	Côte d’ivoire
3	Cavaly	2116	75	1293	Côte d’ivoire
4	Mani	2506	157	2144	Liberia
5	Loffa	1684	64	1419	Liberia
6	Makona	8384	262	7127	Sierra Léone
7	Mano	10	3	5	Liberia

3.8 - Données

Les données utilisées dans cette thèse sont de deux types **In situ** :

- **Données d’inventaires forestiers** « environnementales » correspondent aux mesures biophysiques réalisées sur le terrain (voir tableau 3.3).

Tableau 3.3 - Inventaire des données sur terrain

N°	Nbre d'échans	Nombres de placette	Surface par placette (ha)	Nombre d'arbres	Classés de diamètres (mm)	Surfaces (ha)	Lieux
1	5	28	1,5	120	20 -110	42	Ziama
2	2	9	1,2	70	20 -110	10,8	Ziéla
3	2	16	1,2	100	20 -110	19,2	Diécké
4	1	3	1,2	78	20 -110	3,6	Béro
5	1	2	1,2	50	20 -110	2,4	Pic de Fon

Total	11	58	1,2	418	-	78	-
--------------	-----------	-----------	-----	------------	---	-----------	---

➤ Échantillonnage

Cette étape a permis de définir les paramètres caractéristiques de l'échantillon :

- ✓ La taille de l'échantillon d'arbres ;
- ✓ La distribution de l'échantillon par classes de diamètres ;
- ✓ Le diamètre maximum de l'échantillon pour une précision donnée.

➤ Plan d'échantillonnage des arbres

- Deux approches
- 1. Echantillonnage aléatoire des petits arbres sur les pré-forêts et l'échantillonnage dirigé des gros arbres parmi les essences exploitées (Fayolle et al. 2013) ;
- 2. Echantillonnage régulier des arbres sur la gamme de diamètre d' un jeu d' espèces représentatives du type de forêt (Ngomanda et al. 2014).

3.8.1 - Le protocole de collecte des données

Ce processus se réalise en trois (3) points :

1. Identification des arbres ;
2. Collecte des données sur le terrain ;
3. Compilation des données au laboratoire.

3.8.2 - Mesures dendrométriques

1. Diamètre de référence ;
2. Hauteur de référence ;
3. Hauteur totale ;
4. Hauteur du fût ;
5. Rayons du houppier.

Il faut souligner que la surface du houppier correspond aux variables d' entrée des équations allométriques.

3.8.3 - Collecte des données

Cette opération a consisté aux mesures dendrométriques : Diamètre de référence, Hauteur de référence, Hauteur totale, Hauteur du fût et Rayons du houppier (DHP). La collecte des données s'est effectuée en deux phases :

- **Phase 1** : du 08 Novembre 2017 au 21 Décembre 2017 à la Station Scientifique de Mont Nimba – Laboratoire de Botanique. Elle a consisté aux mesures des paramètres biophysiques (hauteur, diamètre...) de l'essence forestière *Trichilia Septentrionalis* de la famille des Méliacées. ;
- **Phase 2** : du 23 au 30 Aout 2018 à l'Institut de Recherche Agronomique Sérédou – Laboratoire de Botanique avec le même mode opératoire que la première phase. Du 03 au 15 Septembre 2018. La collecte des données sur les Forêts classées de Diécké, du Pic et de Béro s'est effectuée au Centre Forestier de Nzérékoré qui assure la gestion intégrée des forêts classées de la Guinée Forestière.
- **Données de Télédétection** Un jet de 18 images (voir les caractéristiques dans le tableau 3.3).

Tableau 3. 3 - Caractéristiques des images du capteur MODIS du satellite EOS AM-1

Bande	Résolution spectrale (µm)	Résolution spatiale (m)	Nombre de canaux	Période (jours)	Taille de l'image (Km)	Applications
1	0,620 - 0,670	250	2	1-2	1100*1100	Couverture terrestre
2	0,841 - 0,876	250	2	1-2	1100*1100	Végétation
3	0,459 - 0,479	500	2	1-2	1100*1100	Propriétés du sol
4	0,545 - 0,565	500	2	1-2	1100*1100	Verdure
5	1,230 - 1,250	500	2	1-2	1100*1100	Indice de feuille

3.8.4 Les outils de traitement

- **QGIS version 2.18.4 Las palmas** : C'est un logiciel du Système d'Information Géographique qui permet de visualiser et créer des cartes, de faire des requêtes sur ces dernières et les éditer.
- **Microsoft Excel 2016** : C'est un tableur qui nous a permis aussi de faire des statistiques descriptives, de tracer les différentes courbes et de faire des Tests statistiques ;
- **Matlab** : A permis la manipulation des données numériques et la programmation. Le champ d'application du logiciel est scientifique. Son objectif, par rapport aux autres

langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

Le logiciel fonctionne sous Windows et sous Linux. Son interface de manipulation HMI utilise les ressources usuelles du multi-fenêtrage. Son apprentissage n'exige que la connaissance de quelques principes de base à partir desquels l'utilisation des fonctions évoluées est très intuitive grâce à l'aide intégrée aux fonctions.

- **R** : logiciel de traitement et d'analyse statistique des données de type modulaire et un langage de programmation. Il dispose également de très bonnes capacités de représentation graphique. Autour d'un noyau de statisticiens et de programmeurs, des centaines de bénévoles de partout dans le monde s'activent à perfectionner et à étendre les fonctionnalités de ce logiciel. Dans R, le type de base est le vecteur ; Il est possible de définir des tableaux et des matrices. Mais en interne R les linéarise sous forme de vecteurs, même si pour nous, c'est (souvent) transparent.

3.9 – Méthodologies

Dans cette recherche, nous utiliserons deux démarches qui s'articulent sur l'inventaire forestier et les techniques par télédétection en se servant de capteur aéroporté (*photographie aérienne*) illustrés dans le tableau ci-dessous.

La méthodologie utilisée pour la quantification de la teneur en carbone superficiel et le potentiel de séquestration à l'échelle de la zone d'étude a été structurée autour de deux étapes combinant l'utilisation de deux techniques :

- 1) Des inventaires in situ pour mesurer les volumes de la biomasse et des stocks de carbone dans des placettes réparties sur les différentes régions bioclimatiques de la Guinée Forestière. Par une méthode statistique ; les évolutions du coefficient de variation ($C_v\%$) et les modèles allométriques utilisés ont été paramétrés.
- 2) Une analyse des observations satellitaires (imageries satellitaires) combinée aux indices de végétations moyen (NDVI) ont permis de faire la cartographie (spatialisation) de la biomasse et du potentiel de séquestration du carbone pour un période de 30 ans (1990-2019).

Tableau 3. 4 - Méthodes d'évaluation du niveau de la biomasse

Méthode		Description	Limites	Incertitude
Inventaire forestiers		Relient les mesures au sol des diamètres des troncs ou des volumes des arbres aux stocks de carbone forestier en utilisant des relations allométriques	Les relations génériques ne sont pas adaptées à toutes les régions et peuvent être lentes pour la nécessité de produire des résultats globalement cohérents qui constitue un défi	Faible
Téledétection	Téledétecteurs optiques	Utilise des fréquences visibles et infrarouges pour mesurer les indices du spectre ; ils sont en corrélation avec les mesures au sol de carbone forestier (Landsat, MODIS).	Capacité limitée d'élaborer de bons modèles pour les forêts tropicales très denses des indices du spectre quand les stocks de carbone sont plutôt bas peut être exigeant sur le plan technique.	Elevée

- **Méthode par inventaire forestier**

Cette méthode est la plus ancienne et permet de faire des estimations plus précises par rapport à l'inventaire par échantillonnage. Par ailleurs, l'échantillonnage est utilisé pour des raisons économiques dans la plupart des inventaires car les forêts à inventorier sont généralement trop vastes pour être entièrement parcourues. Pour estimer la biomasse exploitable sur pied, nous adopterons la démarche suivante dont l'inventaire sur le terrain consistera à :

- Identifier des réserves forestières d'étude ;
- Délimiter des zones à inventorier en utilisant le ruban, le cordeau, la boussole et la machette ;
- Mesurer des circonférences (*à l'aide de cm tailleur et décimètre*) et des hauteurs à l'aide du rélascope ;
- Faire la prise des coordonnées de la zone d'étude à l'aide du GPS ;

Ainsi, l'inventaire sur le terrain nous permettra de faire allusion à une mesure de densité du bois. Selon Chave & al. (2009), la densité spécifique des bois est fournie par les bases de données internationales d'espèces selon leur zone géographique. Toutefois, il subsiste un manque d'informations sur la densité du bois de nombreuses espèces africaines. La densité du bois à l'échelle du genre peut être estimée à partir de la moyenne de la densité du bois des espèces qui le composent (Slik et al, 2008).

Ainsi, une moyenne de la densité du bois des espèces a été calculée au niveau de chaque genre. Pour les genres n'ayant pas des densités dans la base de données, la valeur moyenne de tous les genres pour le site a été attribuée.

Ce processus nous permettra de faire de l'évaluation du niveau de stock de carbone par la construction des équations allométriques (voir 3.11)

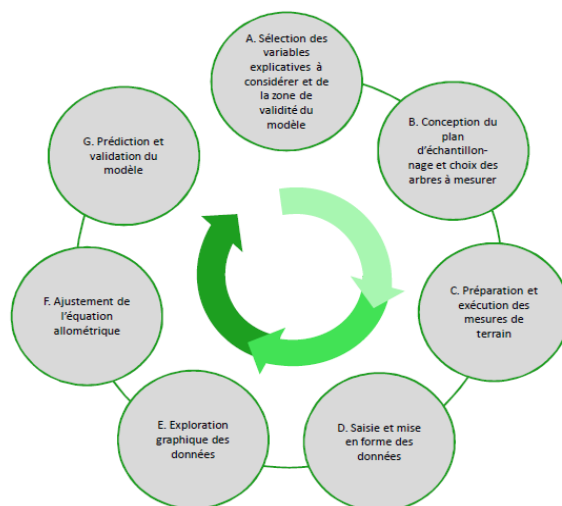


Figure 3. 18 - Schéma méthodologique de la validité des équations allométriques

- **Méthode par Télédétection**

Cette démarche nous permettra d'accéder à une base de données Web sur les images satellitaires (MODIS) par téléchargement de la région forestière illustrée par la figure ci-dessous

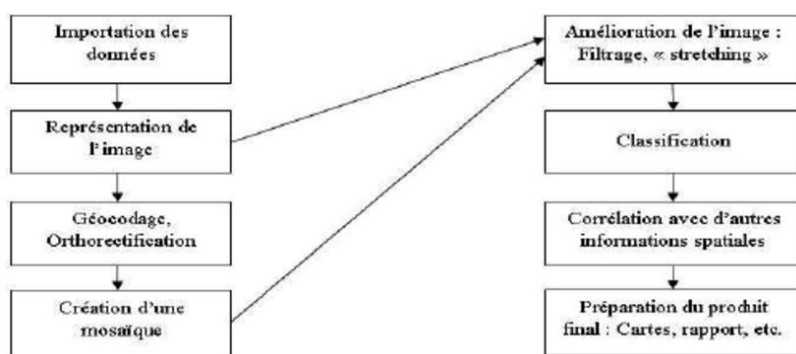


Figure 3. 19 - Schéma synoptique de la méthodologie de la recherche par télédétection

A travers ce schéma synoptique, un modèle statistique de type “Regression Tree” sera utilisé dans notre étude appelé “Random Forest”, pour prédire la biomasse aérienne en intégrant les échantillons de la biomasse des forêts classées de Ziama, du Mont Nimba, de Diécké, du Mont Béro et du Pic de Fonc avec les mesures de réflectance des 4 bandes de MODIS sur la période 1990-2019.

CHAPITRE IV - DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA BIOMASSE LIGNEUSE DE LA GUINEE FORESTIERE

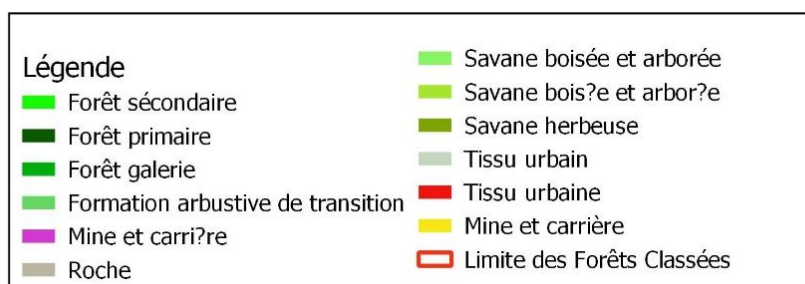
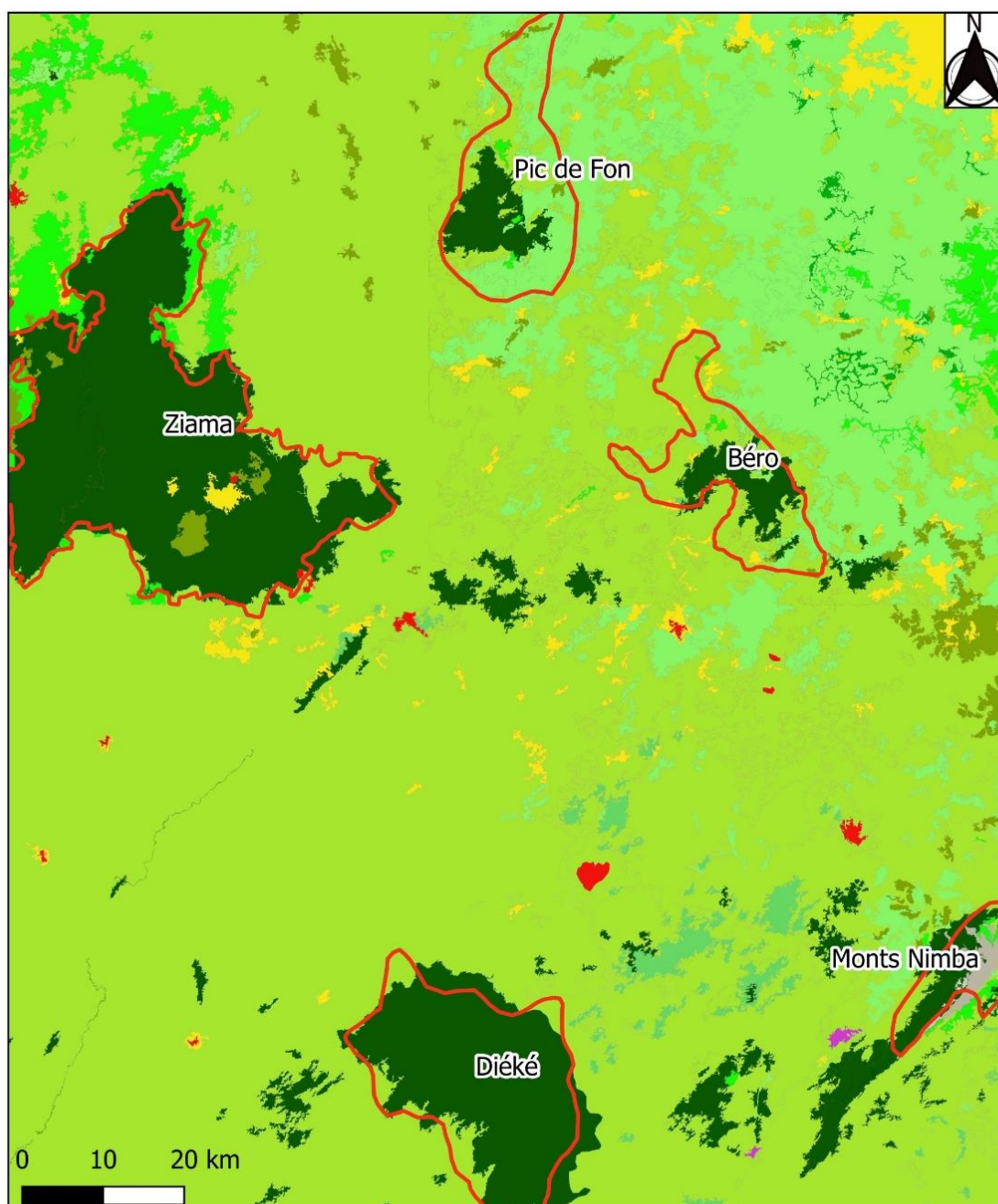
La quantification des stocks de biomasse et de carbone contenus dans les forêts tropicales est devenue une priorité nationale et internationale dans le cadre de la réduction des effets du changement climatique par la mise en œuvre du mécanisme REDD+. La biomasse forestière est estimée à trois échelles spatiales successives : l'arbre, le peuplement et la région. En considérant les limites sur la précision des équations allométriques pantropicales disponibles, le manque de données d'inventaires forestiers et des observations satellitaires à large échelle spatiale au niveau des forêts classées de la Guinée forestière ; il existe des incertitudes sur les estimations de la biomasse et des stocks de carbone contenus dans ces forêts. Ainsi, ce chapitre s'appuie sur les Analyses des variations spatio-temporelles de la biomasse ligneuse par imageries satellitaires tout en établissant la corrélation avec les résultats obtenus des inventaires forestiers de ladite Région.

4.1- Distribution du couvert végétal de la Guinée Forestière en 1990

Cette étude a démontré que peu d'équations allométriques permettent d'estimer la biomasse de l'arbre à partir de mesures du diamètre, de la hauteur et de la densité du bois. Ces équations ont été établies pour les forêts tropicales africaines. Ce travail nous a permis de mettre en exergue les variations spatiales et temporelles connues de la biomasse entre les types de forêts classées dans la région forestière de la Guinée.

La reconstitution de la biomasse après une perturbation (l'exploitation forestière...) dans ladite région est relativement rapide. A cet effet, il existe encore des incertitudes sur les variations spatio-temporelles de la biomasse et de la cartographie régionale de la biomasse. La qualité de la cartographie de la biomasse dépend fortement des différents capteurs utilisés (optique, RADAR ou LiDAR) et des équations allométriques utilisées pour convertir les données d'inventaires forestiers en biomasse.

Cette problématique nous a permis d'orienter cette recherche sur l'évaluation des stocks de carbone en vue de déterminer les niveaux d'émission de CO₂ dûs à la dégradation et à la déforestation dans les bassins forestiers des forêts classées de Zياما, de Nimba, de Diécké, de Béro et du Pic de Fon.



Source: Landsat 05 Janvier 2000
 SCR: WGS 84/ UTM Zone 29N
 Date : Octobre 2020
 Réalisation: LEREA

Figure 4. 1- Cartographie du couvert végétal de la Guinée Forestière en 1990

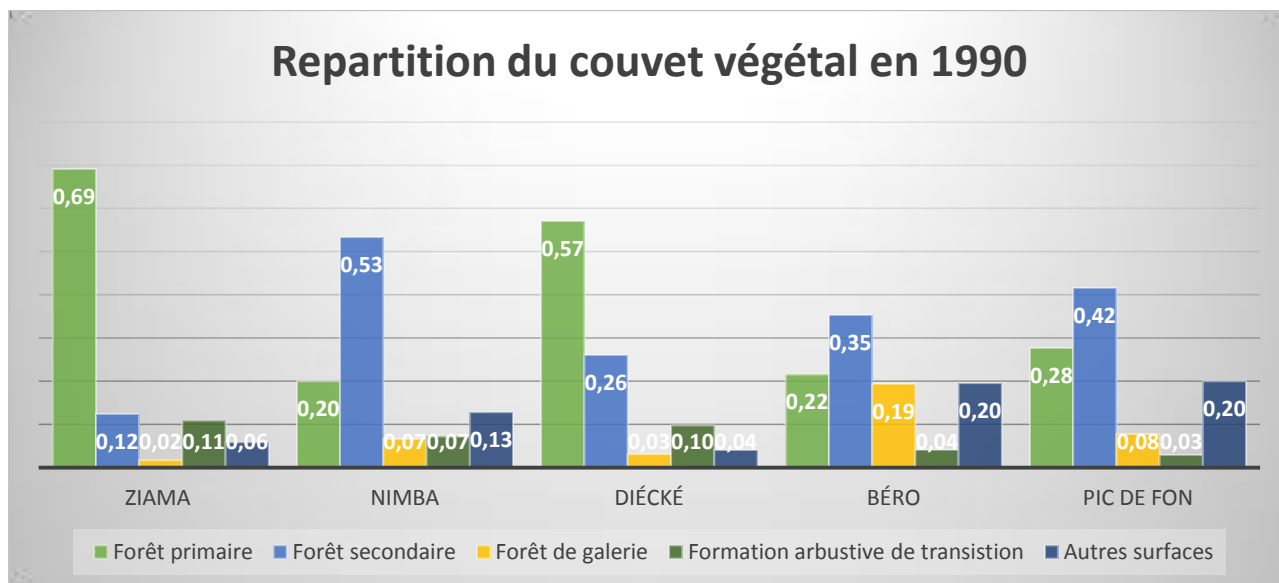


Figure 4. 2 - Répartition du couvert végétal de la Guinée Forestière en 1990

Les résultats obtenus suite au traitement des données satellitaires (images) par spatialisation et analyses, nous a permis de constater que les forêts primaires en 1990 occupaient respectivement 69 % à Zياما, 20 % au Mont Nimba, 57 % à Diécké, 22 % à Béro et 28 % au Pic de Fon de la surface ; les forêts Secondaires occupaient 12 % à Zياما, 53 % au Mont Nimba, 26 % à Diécké, 35 % à Béro et 42 % au Pic de Fon de la surface ; les forêts de galerie occupaient 2 % à Zياما, 7 % au Mont Nimba, 3 % à Diécké, 19 % à Béro et 8 % au Pic de Fon de la surface ; les formations arbustives de transition occupaient 11 % à Zياما, 7 % au Mont Nimba, 10 % à Diécké, 4 % à Béro et 3 % au Pic de Fon de la surface ; les autres surfaces occupaient 6 % à Zياما, 13 % au Mont Nimba, 4 % à Diécké, 20 % à Béro et 20 % au Pic de Fon de la surface.

Dans l'ensemble, il ressort de ces analyses que : les forêts primaires représentaient 52%, les forêts secondaires 25%, les forêts de galerie 5%, les formations arbustives de transition 9% et les autres surfaces 9% (nappes d'eau, tissus urbains, champs ...). Ces résultats s'expliqueraient par la faible pression anthropique que subissaient ces bassins forestiers.

4.2 - Distribution du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2000

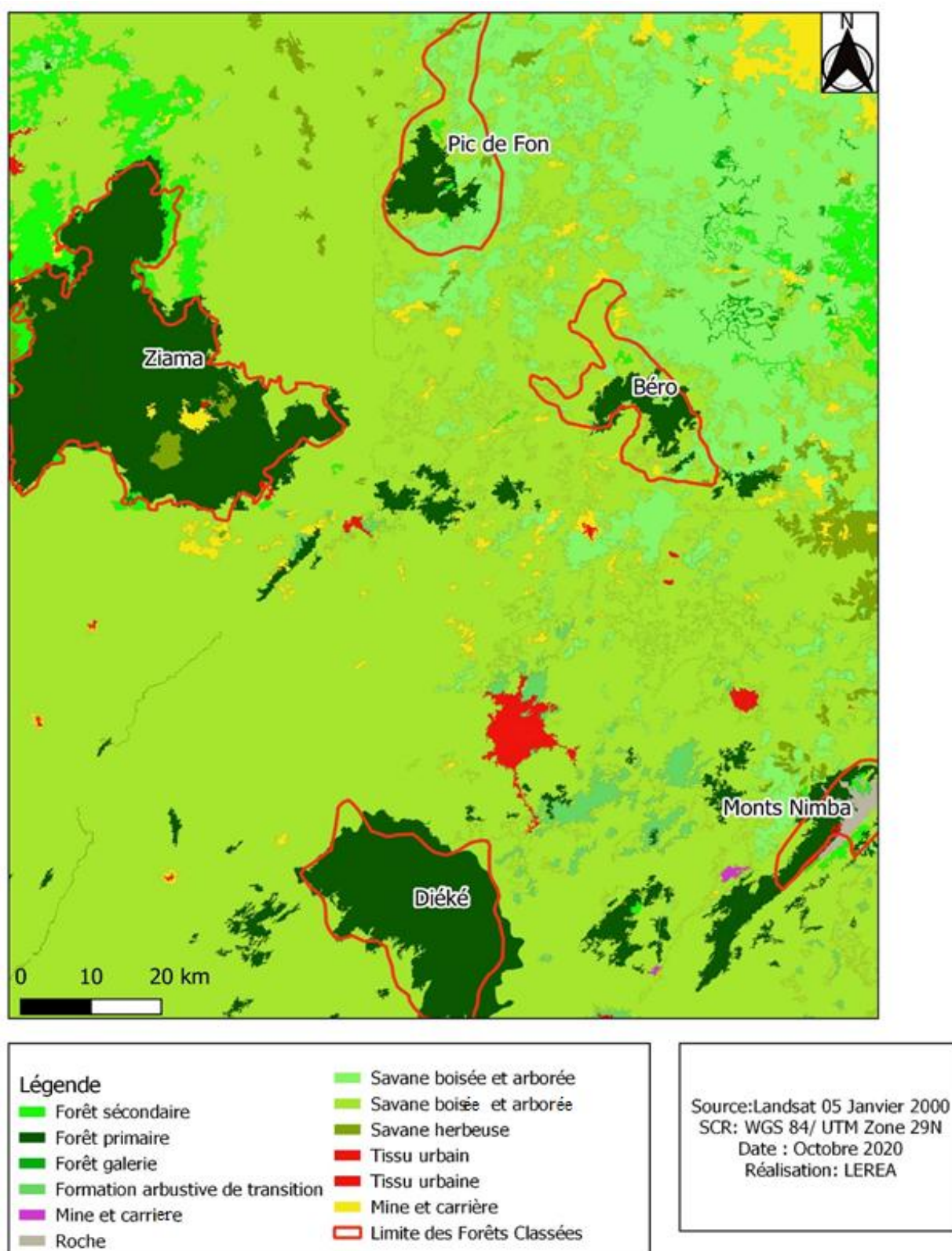


Figure 4.3 - Cartographie du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2000

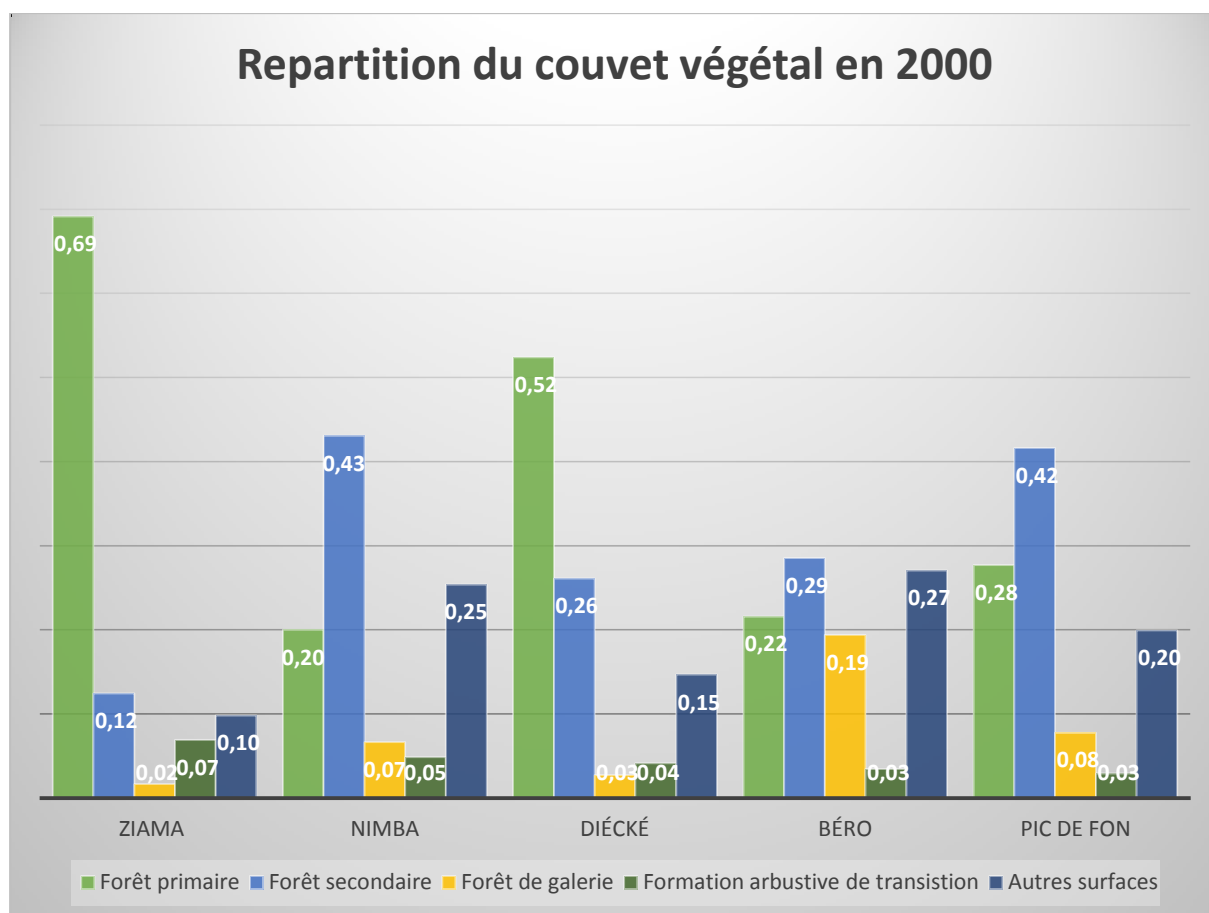
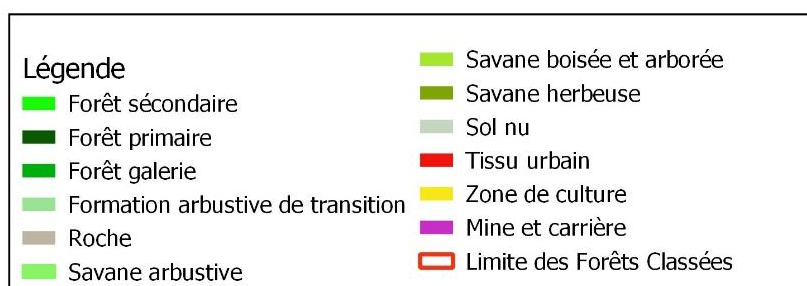
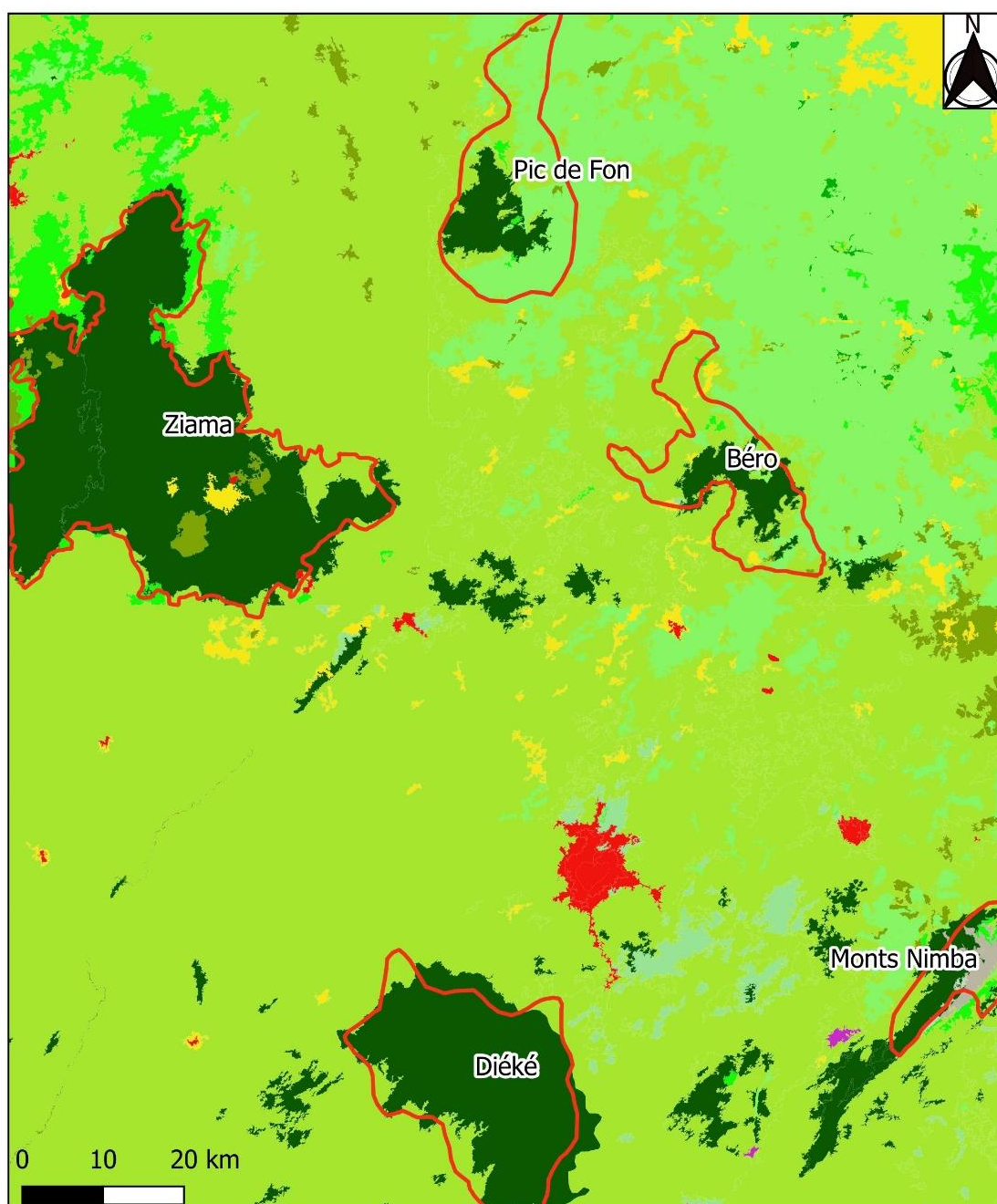


Figure 4. 4 - Répartition du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2000

Les résultats obtenus par traitement des données satellitaires (images), par spatialisation et analyses ont permis de constater que les forêts primaires occupaient respectivement en 2000 : 69 % à Zياما, 20 % au Mont Nimba, 52 % à Diécké, 22 % à Béro et 28 % au Pic de Fon de la surface ; les forêts Secondaires occupaient respectivement 12 % à Zياما, 43 % au Mont Nimba, 26 % à Diécké, 29 % à Béro et 42 % au Pic de Fon de la surface ; les forêts de galerie occupaient respectivement 1 % à Zياما, 7 % au Mont Nimba, 3 % à Diécké, 19 % à Béro et 8 % au Pic de Fon de la surface ; les formations arbustives de transition occupaient respectivement 10 % à Zياما, 7 % au Mont Nimba, 4 % à Diécké, 3 % à Béro et 3 % au Pic de Fon de la surface ; les autres surfaces occupaient respectivement 12 % à Zياما, 25 % au Mont Nimba, 15 % à Diécké, 27 % à Béro et 20 % au Pic de Fon de la surface.

Dans l'ensemble, il ressort de ces analyses que les forêts primaires représentaient 52%, forêts secondaires 22%, les Forêts de galerie 5%, formations arbustives de transition 5% et les autres surfaces 16% (nappes d'eau, tissus urbains, champs ...).

4.3- Distribution du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2019



Source: Sentinel 2A Janvier 2000
SCR: WGS 84/ UTM Zone 29N
Date : Octobre 2020
Réalisation: LEREA

Figure 4. 5 -Cartographie du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2019

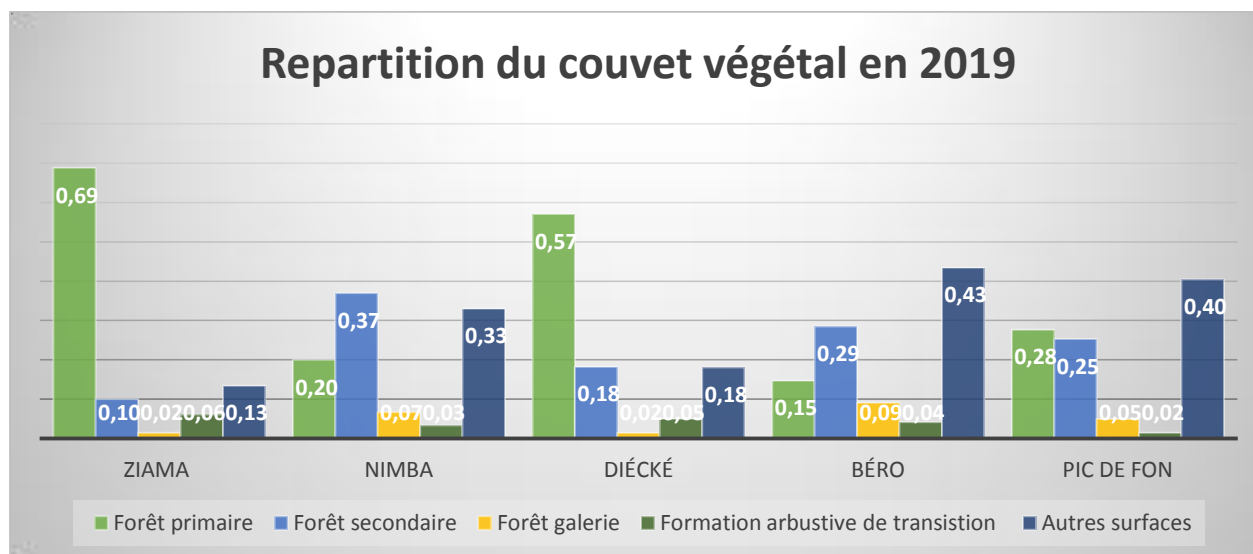


Figure 4. 6 - Répartition du couvert végétal de la Guinée Forestière en 2019

Les résultats obtenus suite au traitement des données satellitaires (images) par spatialisation et analyses, nous a permis de constater que les forêts primaires en 2019 occupaient respectivement 69 % à Zياما, 20 % au Mont Nimba, 57 % à Diécké, 15 % à Béro et 28 % au Pic de Fon de la surface ; les forêts secondaires occupaient respectivement 10 % à Zياما, 37 % au Mont Nimba, 18 % à Diécké, 29 % à Béro et 25 % au Pic de Fon de la surface ; les forêts de galerie occupaient respectivement 2 % à Zياما, 7 % au Mont Nimba, 20 % à Diécké 9 % à Béro et 5 % au Pic de Fon de la surface ; les formations arbustives de transition occupaient respectivement 6 % à Zياما, 3 % au Mont Nimba, 5 % à Diécké, 4 % à Béro et 2 % au Pic de Fon de la surface ; les autres surfaces occupaient respectivement 13 % à Zياما, 33 % au Mont Nimba, 18% à Diécké, 43 % à Béro et 40 % au Pic de Fon de la surface (nappes d'eau, tissus urbains, champs, mine, carrière ...).

Il ressort de ces analyses que les forêts primaires représentent de 52% des étendues, les forêts secondaires 18 %, les forêts de galerie environs 3 %, les formations arbustives de transition 5 % et les autres surfaces qui sont constituées des nappes d'eau, du tissu urbain, des champs agricoles, des mines et des carrières sont estimés à 23 %.

Pour la période de 1990-2019, le taux de déforestation des forêts classées se présente comme suit : les surfaces des forêts primaires restent constantes à 52% soit 65742,46 ha ; les surfaces des forêts secondaires régressent de 25% (1990) à 18% (2019) soit une perte nette de 7% environs 19000,70 ha qui correspond à une déforestation de 633,33 ha par an, les forêts galeries ont connu une diminution de 5% (1990) à 3 % (2019) soit une perte de 2%, les

formation arbustives de transition ont connu une dégradation de 9% (1990) à 5 % (2019) soit une perte de 4 %, tandis que celles des autres surfaces constituées des nappes d'eau, du tissu urbains, des champs de culture, des mines et carrières ont progressé de 9% (1990) à 23 % (2019) soit une augmentation de 14% qui correspond à 38 468,14 ha, qui met en évidence une hausse des superficies occupées à environ 1 282,27 ha par an liées aux activités anthropiques : l'urbanisation et l'exploitation des ressources résultant de la déforestation ou de la dégradation du couvert végétal dans cette zone. Ces résultats confirment à peu près les travaux de la DNEF (2015) avec 48 % en moyenne des surfaces totales, de Nasi et al (2008) qui ont trouvé des résultats similaires pour les forêts primaires à 43 %, pour les forêts secondaires à 32 %, pour les forêts de galeries à 12 % et pour les autres surfaces à 13 %.

4.4- Distribution du gradient de la Biomasse en Guinée Forestière

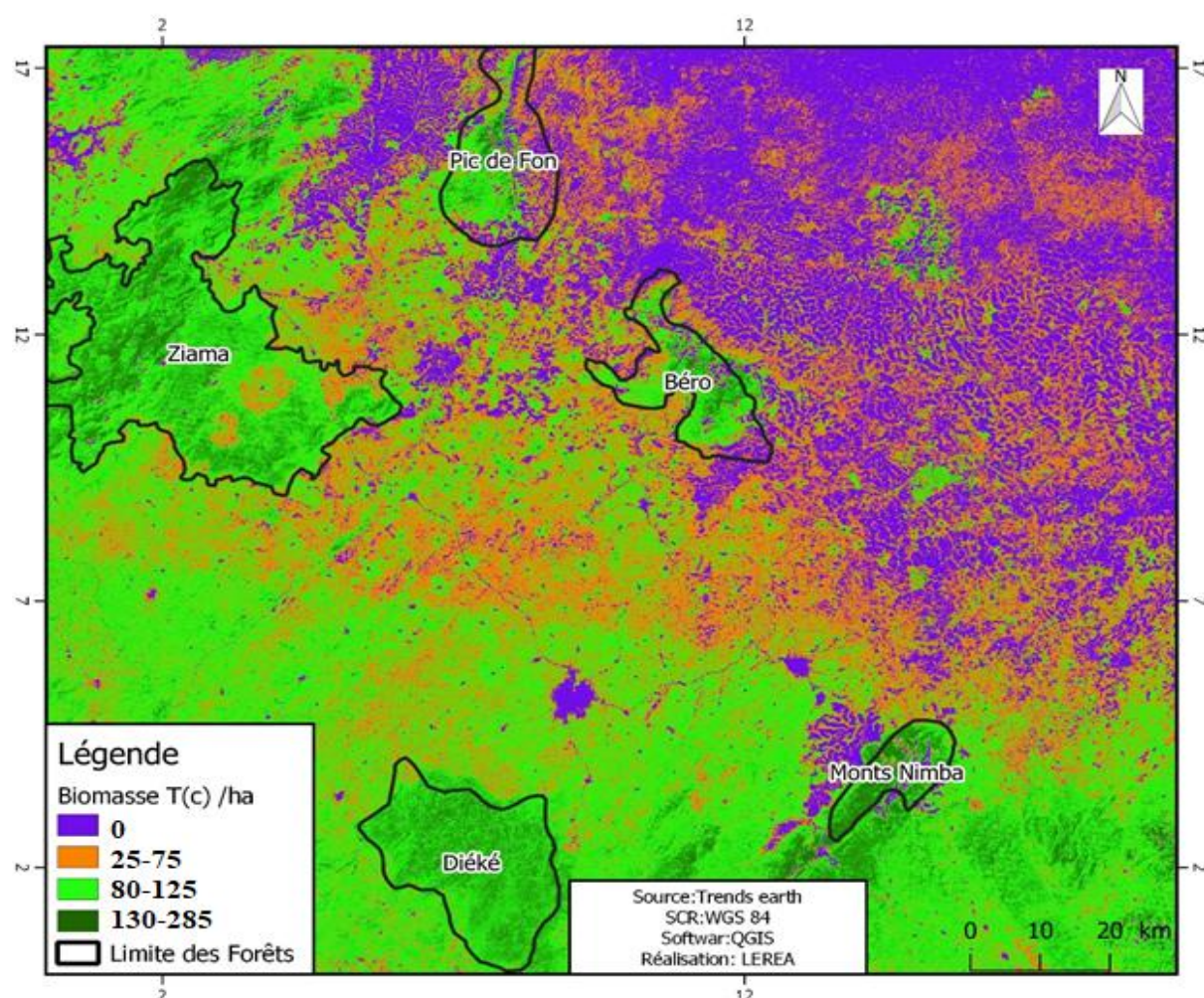


Figure 4. 7 - Répartition du gradient de la biomasse en Guinée Forestière

La cartographie de la biomasse des forêts classées de la région par l'utilisation des imageries satellitaires a permis de définir un gradient de biomasse qui varie de 0 à 285 t/ha.

Une corrélation de 0,90 entre la carte de biomasse établie à partir de données satellitaires et l'estimation de la biomasse provenant des inventaires forestiers.

Les travaux de Carreiras et al., 2012 et 2013 ont montré une corrélation de 0,95 en Guinée Bissau et au Mozambique. Selon Avitabile et al. (2012), le modèle développé pour estimer la biomasse à l'échelle nationale en Ouganda à partir d'images Landsat présente une précision élevée ($R^2 = 0,81$). Cette importante précision est liée à la faible densité de biomasse rencontrée dans le pays (moins 25 t. ha⁻¹ sur 87 % du territoire). En RDC, Bastin et al. (2014) indiquent une bonne relation ($R^2 = 0,85$) entre la biomasse estimée à partir des données d'inventaires forestiers et la biomasse prédite sur base de la texture forestière analysée à partir d'images de très haute résolution spatiale sur une superficie de 400 km².

Toutefois, Mermoz et al. (2015) indiquent des sous-estimations de la biomasse provenant de données RADAR (109 ± 42 t. ha⁻¹) par rapport à la biomasse estimée à partir des inventaires forestiers (238 ± 30 t. ha⁻¹) réalisés dans les forêts centrafricaines. Cette sous-estimation serait liée à l'atténuation du signal de la bande L dans les forêts à haute densité de biomasse. Dans les forêts du Ghana, une erreur de prédiction de 20 % est obtenue sur l'estimation de la biomasse aérienne à partir de données aériennes (Chen et al., 2015). Finalement, une incertitude d'environ 25 % a été trouvée sur l'estimation de la biomasse à partir de la fusion des données de RADAR et de LiDAR au niveau du Parc national Lopé au Gabon (Mitchard et al., 2012).

En Guinée, particulièrement dans la région forestière, nous avons développé un modèle d'équations allométriques locales spécifiques qui explique 82% de la variance de la biomasse ligneuse aérienne avec une erreur quadratique moyenne de 50,5 t/ha. La carte présente un gradient de biomasse allant de 0 à 354 t/ha. Ainsi, nous avons trouvé une corrélation élevée ($R^2 : 0.90$) entre notre carte de la biomasse et la hauteur de la canopée qui ont été dérivées des données lidar du Système Laser Altimétrique Géoscience (GLAS) en comparaison avec les données GLAS calibrées avec des inventaires forestiers récents afin de développer une nouvelle carte de la biomasse ligneuse aérienne à 500 m de résolution.

4.5- Distribution du niveau de séquestration du carbone en Guinée Forestière

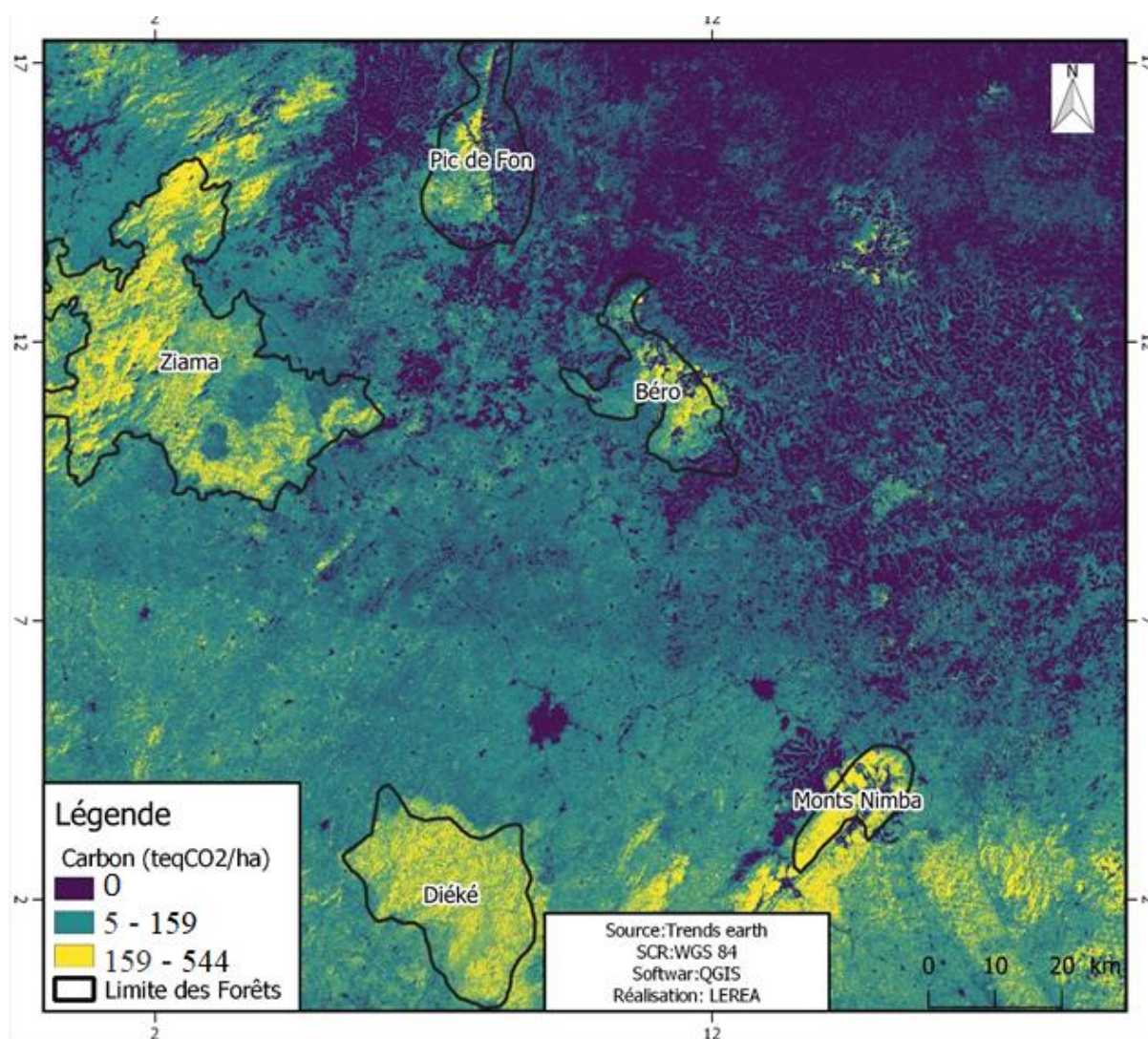


Figure 4. 8-Répartition du niveau de séquestration du carbone de la biomasse ligneuse en GF

Le niveau de séquestration du carbone se répartit en trois (3) grands blocs variant de 0-544 tCO₂e/an pour la période de 1990-2019. Les forêts primaires séquestrent environ 18,13 tCO₂e/ha, les forêts secondaires 10,87 tCO₂e/ha, les forêts galeries environ 6,15 tCO₂e/ha, les formations arbustives de transissions 3,06 tCO₂e/ha et les autres surfaces constituées du tissu urbain, des nappes, des champs agricoles, des mines et des carrières est de 0,26 tCO₂e/ha la capacité d'absorption moyenne est de 2,07 MtCO₂e.

Ces résultats obtenus confirment les travaux de Diane et al (2017) dans la forêt classée de Kouradi à Kindia ayant une capacité d'absorption de 0,83 MtCO₂e/q, Grace Jopaul et al

(2016) pour les forêts tropicales africaines ont rapportés 4,78 MCO₂e/ha, Ebuyi et al (2011) dans le bassin du Congo ont trouvée 5,63 tCO₂e/ha.

Le rapport des études pour la première communication nationale à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques avait montré que le gaz carbonique (CO₂) est absorbé à hauteur de 101529328 Gg par les différentes formations végétales qui couvrent le pays (abandon des forêts et changement de patrimoine forestier). Il ressort que la plus grande source de gaz carbonique reste la conversion des forêts qui est à la base de 80 046,36 Gg d'émission de CO₂ c'est à dire 11, 89 tonnes pour chaque guinéen en 2002 (rapport final PCNCCNUCC 2002)

La seconde communication prouve que les émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts primaires sont insignifiantes comparées à la séquestration. Cependant, il faudra s'assurer de la durabilité de cet état de fait par des stratégies adéquates de préservation des formations forestières et le reste est fortement entamé par une exploitation irrationnelle. Le manque de procédures pérennes de collecte de données pour l'inventaire et la faiblesse du cadre institutionnel rapporté dans la SCNCCNUCC (2018).

CHAPITRE V – PRESENTATION DES RESULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

DISCUSSIONS

Les résultats détaillés des travaux de recherche sont présentés sous la forme de quatre articles fournis. Dans ce chapitre, les principaux résultats sont illustrés sous formes de tableaux et de graphiques : analysés et discutés. En général, il s'agit d'estimer la biomasse aérienne à partir de mesures de circonférence à 1,30 m de hauteur dans le cadre des inventaires forestiers, de la détermination des niveaux d'émissions de référence, du développement d'un modèle de régression allométrique spécifique et enfin du suivi des stocks de carbone par l'analyse des données d'imageries satellitaires.

5.1-Test de validité des équations allométriques pantropicales de Chave et locale de Ebuye (RDC) dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba (Ziéla-Lola)

5.1.1- Classification de l'échantillon en fonction des classes de diamètres dans la Réserve de la Biosphère du Mont Nimba (Ziéla-Lola)

Pour l'espèce choisie, en fonction des classes de diamètres mesurés, nous avons obtenu la distribution suivante représentée sur la figure (5.1)

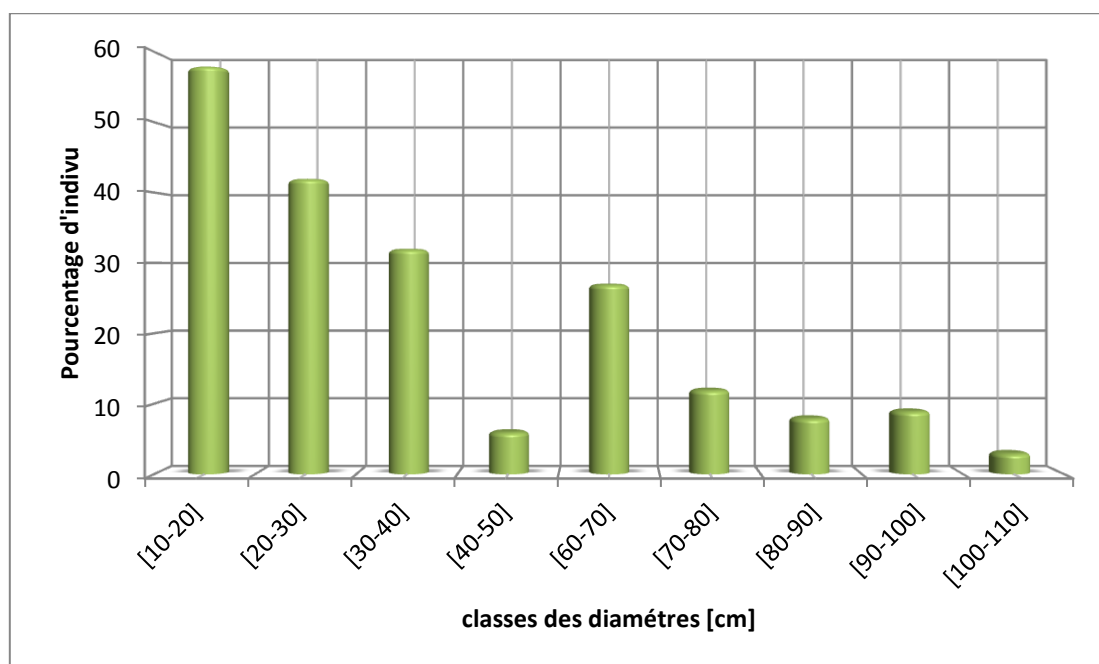


Figure 5. 1 - Classification des diamètres de l'échantillon

La figure 5.1 présente la répartition en pourcentage des arbres examinés dans le cadre de cette étude. Il apparaît que la classe de diamètre 10-20 cm est la mieux représentée dans le peuplement étudié ; les individus de diamètres supérieurs à 100-110 cm sont peu représentés dans cette forêt.

5.1.2- Estimation de la biomasse en fonction des classes de diamètres

En utilisant les deux modèles d'équations allométriques, nous avons évalué la biomasse en fonction des classes de diamètres. Les quantités de biomasse obtenues sont représentées sur la figure 5.2.

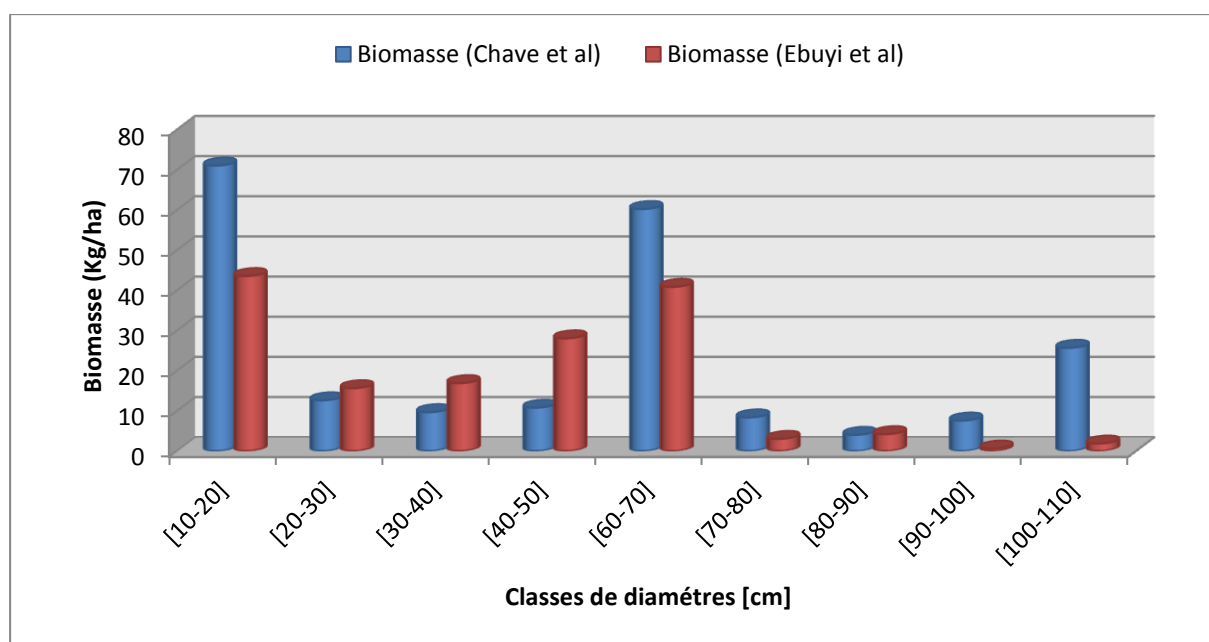


Figure 5. 2 - Estimation de la Biomasse en fonction des classes de diamètres avec les deux modèles allométriques.

Les histogrammes de la figure 5.2, présentent les biomasses en fonction des classes de diamètres. Les résultats obtenus révèlent que les biomasses évaluées à partir de l'équation de Chave et al. 2005 sont plus importantes que celles de l'équation d'Ebuyi et al. 2011 pour les classes de petits diamètres (10-20 cm) et celles des grands diamètres (100-110cm). Cette analyse montre que l'équation de Chave et al.2005 donne une surestimation de la biomasse. En observant la biomasse de l'équation d'Ebuyi et al.2011, nous constatons qu'elle surestime les petits diamètres et sous-estime la biomasse des grands diamètres.

5.1.3- Variation de stock de carbone en fonction des classes de diamètre

Les fortes proportions de séquestration du carbone varient respectivement en moyenne de 25% et 19% en utilisant les équations mises au point par Chave et al. 2005 et d'Ebuyi et al.2011 sur les données collectées de mêmes espèces.

Suite aux différents tests des équations allométriques (*pantropicales et locales*), deux modèles ont été valides pour notre zone d'étude.

Tableau 5. 1 - Modèles d'équations allométriques multi-espèces disponibles pour l'estimation de la biomasse totale (B) en kg

N°	Pays	Equations allométriques	References	n
1	RDC	$B = 1,603(\rho.D^2.H)^{0,657}$	Ebuyi et al (2011)	100
2	ZIT	$B = 0,0776(\rho D^2 H)^{0,940}$	Chave et al (2005)	100

n - la taille de l'échantillon, **D** - le diamètre en Cm, **H** - la hauteur totale en Cm, **ρ** - la densité du bois en g/cm³.

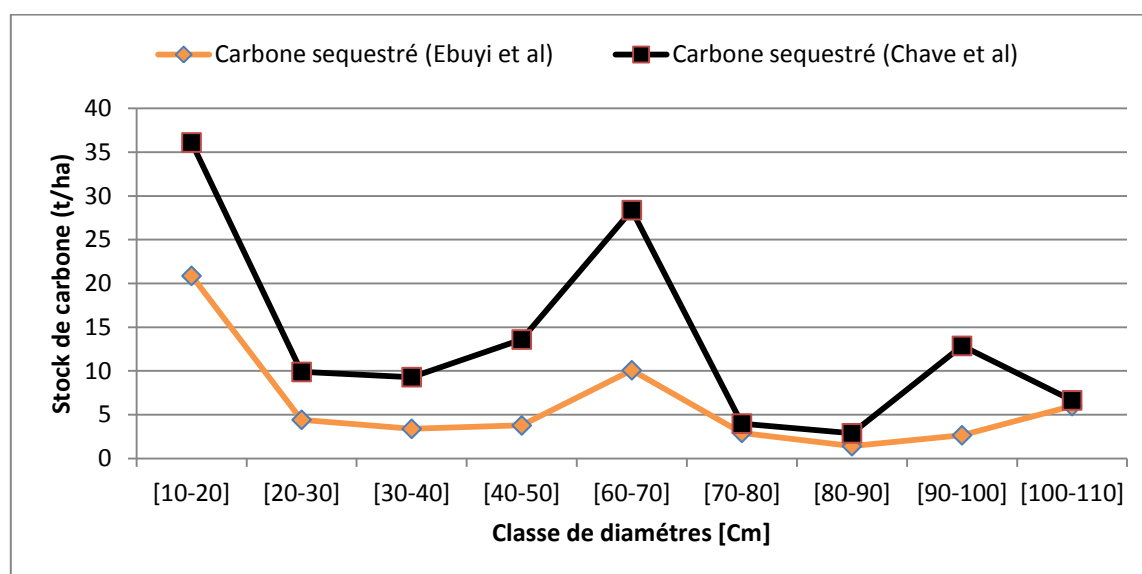


Figure 5. 3 - Variation de stock de carbone en fonction des classes de diamètre

La figure 5.3 présente les stocks de carbone issus respectivement des équations de Chave et al. 2005 et de Ebuyi et al. 2011 en fonction des classes de diamètre sur la parcelle. On n'observe que les stocks de carbone obtenus avec l'équation de Chave et al. 2005 sont supérieurs à ceux obtenus à partir de l'équation d'Ebuyi et al. 2011 pour toutes les classes de diamètres.

Il en résulte que ce stock de carbone varie proportionnellement avec la variation du diamètre. En ce qui concerne l'équation d'Ebuyi et al. 2011, la quantité de carbone séquestrée dans la parcelle est de 13,36 tC/ha, pour une quantité de dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique de 154,11 tonnes métriques (Tableau 5.2).

5.1.4 - Analyse comparative des modèles en fonction des sites

La comparaison des résultats obtenus avec ceux de la RDC et de la Zone Intertropicale (ZIT) sont consignés dans le tableau 5.2 en fonction des deux modèles.

Tableau 5. 2 - Analyse comparative des stocks de carbone en fonction des modèles allométriques.

Pays	Auteurs	Biomasses (kg/ha)	Stock de carbone (t/ha)	CO ₂ Séquestré (t)
Guinée	Chave et al...2005	77.722	19,57	173,48
	Ebuyi ...2011	28.264	13,36	83,11
RDC	Chave et al...2005	82.000	21,4	183,5
	Ebuyi ...2011	27.530	12,96	63,3
ZIT	Chave et al...2005	62.445	17,5	169,45

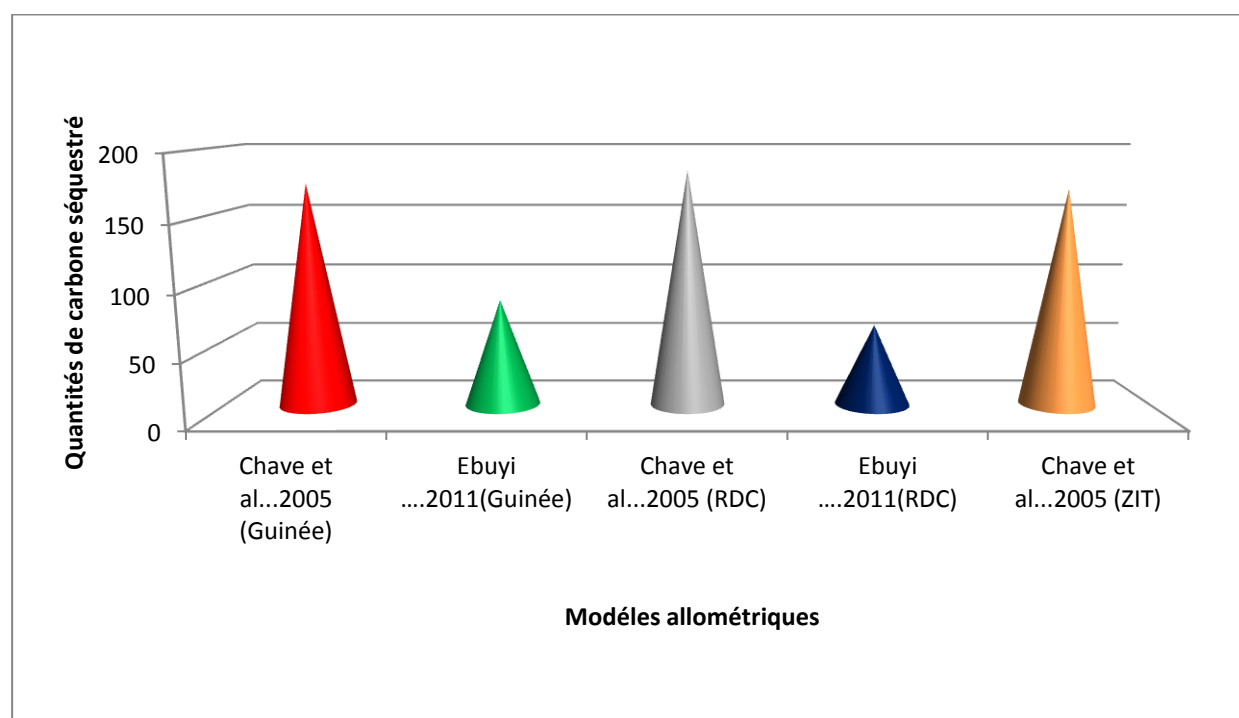


Figure 5. 4-Analyse comparative des stocks de carbone en fonction des modèles allométriques

La figure 5.4 montre les variations de la biomasse (kg/ha), du stock de carbone (t/ha) et de la quantité de CO₂ séquestré (t) en fonction des classes de diamètres et des modèles allométriques (*Chave et al...2005 et d'Ebuyi...2011.*). On observe une certaine variabilité

entre les modèles en fonction des sites géographiques, avec une valeur minimale de 63,3 t/ha et une valeur maximale de 183,5t/ha.

CONCLUSION PARTIELLE 1

Dans cette étude, nous avons fait une estimation approximative de la biomasse dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba en utilisant la méthode de la technique du Buchon pour la mesure de la hauteur, du diamètre à hauteur de poitrine et la densité spécifique du bois. Par ailleurs, en tenant compte de l'objectif général de la recherche, nous avons testé la validité des équations permettant d'estimer de façon aussi précise que possible la biomasse et les stocks de carbone séquestré dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba.

Les échantillons d'arbres ont été inventoriés et mesurés. Ainsi, les estimations de stocks de carbone (C) ont donné les résultats suivants : 19,57 tC/ha pour l'équation de Chave et al. 2005 ; 13,36 tC/ha, pour l'équation d'Ebuyi et al (2011). Il est à noter que l'équation de Chave et al. 2005, stocke plus de carbone dans cette forêt. Toutefois, il apparait une variation de stock de carbone de 6,21 tC/ha entre les classes de diamètres.

Nos travaux ont montré que l'équation allométrique pantropicale de Chave et al 2005 sous-estime la biomasse pour les grandes classes de diamètre (100 -110 cm) car il donne des résultats différents à ceux obtenus par d'autres auteurs dans le Bassin du Congo (Ngomanda, au Gabon et Mugnier au Parc de la Salonga en RD Congo), mais comparables aux résultats obtenus au Cameroun par Ebuyi et al., (2011) et en RDC par Tsoumou et al (2016) pour les mêmes classes de diamètres. Par contre l'équation allométrique pantropicale de Chave et al 2014 estime bien la biomasse aux incertitudes près.

Cette étude montre en effet que la capacité d'une forêt à stocker le carbone dépend principalement de la classe de diamètre des arbres, du type de peuplement et du microclimat du lieu. La variation de la biomasse dans les arbres et entre les arbres à partir d'une méthode adaptée à notre système forestier permettra également de développer d'autres équations allométriques multi-espèces locales.

5.2 - Mesures du Niveau de Reference des Emissions des Forêts (NERF) dans la Forêt

Classée de Ziama-Macenta

Dans cette partie, il est important de souligner que le NERF consiste à ressortir la capacité d'absorption d'un écosystème forestier en fonction du temps. C'est pour cette raison que les mesures liées à l'évaluation du NERF rentre dans la protection des forêts ayant pour conséquence l'atténuation des effets des changements climatiques.

5.2.1 - Evaluation de la biomasse brute en fonction des essences forestières dans la Forêt classée de Ziama-Macenta

L'évaluation des inventaires d'arbres dans les quatre (4) zones de la Forêt de Ziama nous a permis de déterminer la biomasse aérienne, le stock de carbone et le NERF à partir du nombre d'arbres par classe de diamètres. A partir des données satellitaires NDVI de la zone, nous avons ressorti la répartition spatio-temporelle de la biomasse dans la forêt classée de Ziama. La spatialisation temporelle est représentée sur la figure 4.5. Le nombre de placettes dans les quatre (4) zones varie en fonction des classes de diamètre dans la Forêt de Ziama à côté des Villages : Boo 72, Massadou 51, Sérédou 103 et Zoboroma 89.

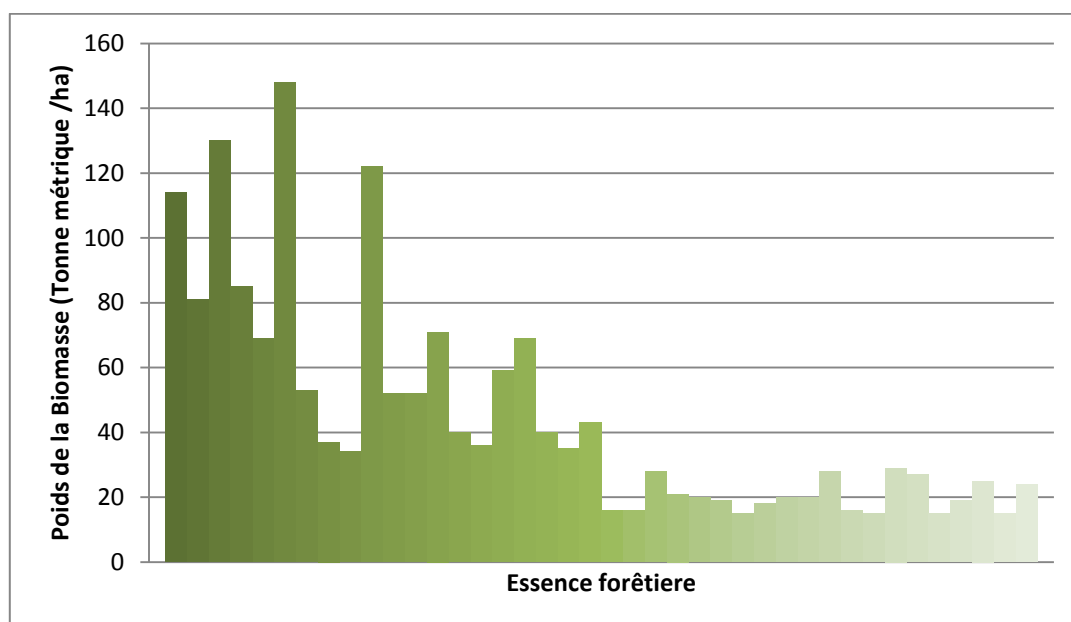


Figure 5. 5 - Le gradient de biomasse convertible dans la forêt classée de Ziama

La figure 5.5 illustre la valeur de la biomasse brute par essence forestière dans ces quatre (4) zones en fonction des différentes placettes. Il ressort de cette analyse que le gradient de biomasse varie en fonction des essences : Funtumia elastica (114 tonnes métriques /ha), Uapaca guineensis (200 tonnes métriques / ha), Celtis mildbraedii (130 tonnes métriques /ha), Piptadeniastrum africanum (302 tonnes métriques/ha), Bosqueia angolensis (148 tonnes métriques / ha), Funtumia elastic (122 tonnes métriques / ha).

5.2.2 - Détermination des niveaux d'émissions

Tableau 5.3 - Evaluation du NERF par Zone de 2010 - 2018

N°	Période comptable	Zone d'études	Emission (teCO ₂ /an)
1	2010	Boo	50,56
		Massadou	45,33
		Sérédou	20,87
		Zoboroma	59,13
2	2012	Boo	75,69
		Massadou	67,98
		Sérédou	34,21
		Zoboroma	40,15
3	2014	Boo	101,58
		Massadou	89,65
		Sérédou	72,91
		Zoboroma	92,75
4	2016	Boo	125,3
		Massadou	104,56
		Sérédou	75,96
		Zoboroma	98,08
5	2018	Boo	178,47
		Massadou	175,75
		Sérédou	69,98
		Zoboroma	147,13

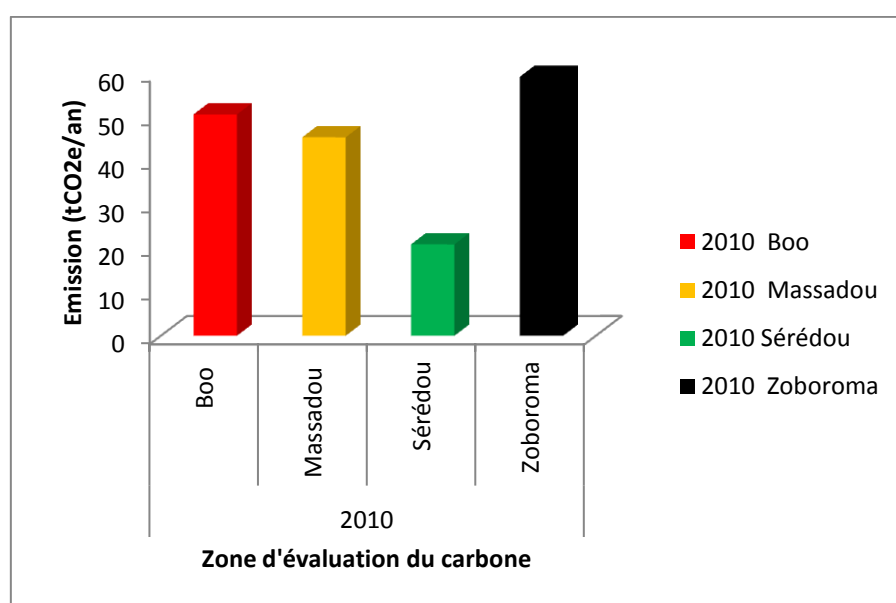


Figure 5.7- Estimation des émissions dans la forêt classée de Ziama en 2010

La figure 5.7 illustre le Niveau d'Emission de Référence (NERF) de carbone des zones forestières de Ziama en 2010. Il ressort que la zone de Zoboroma indique le plus grand niveau

d'émission avec la valeur moyenne de 53, 13 teCO₂/an, suivi de Boo et de Massadou qui sont respectivement 50,56 et 45,33 teCO₂/an et le plus bas niveau d'émission est observé dans la zone de Sérédou 20,78 teCO₂/an.

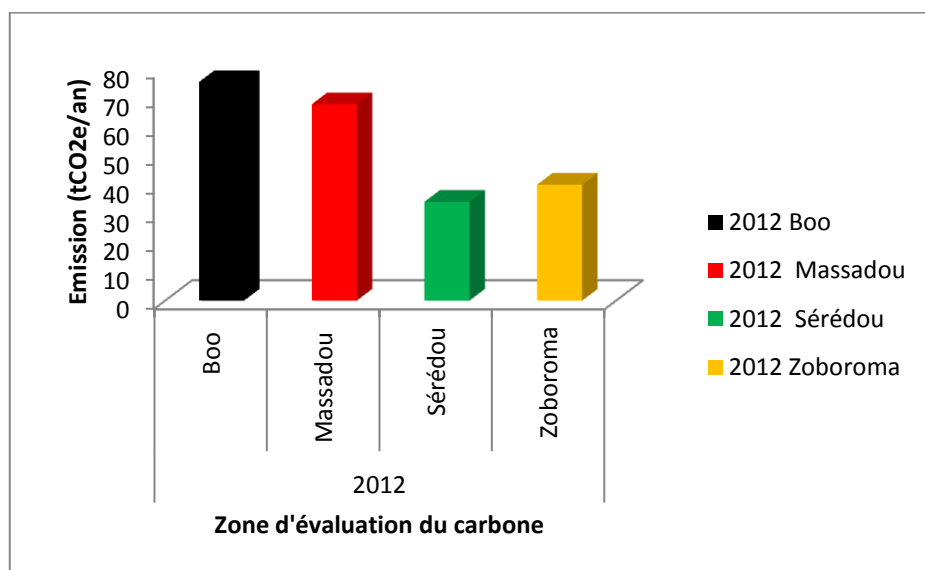


Figure 5. 5 - Estimation des émissions dans la forêt classée de Ziam en 2012

La figure 5.6 illustre le Niveau d'Emission de Référence (NERF) de carbone des zones forestières de Ziam en 2010. Il ressort que la zone de Boo indique le plus grand niveau d'émission avec la valeur moyenne de 75, 69 teCO₂/an, suivi de Massadou et de Zoboroma qui sont respectivement 67,98 et 40,15 teCO₂/an et le plus bas niveau d'émission est observé dans la zone de Sérédou 34,21 teCO₂/an.

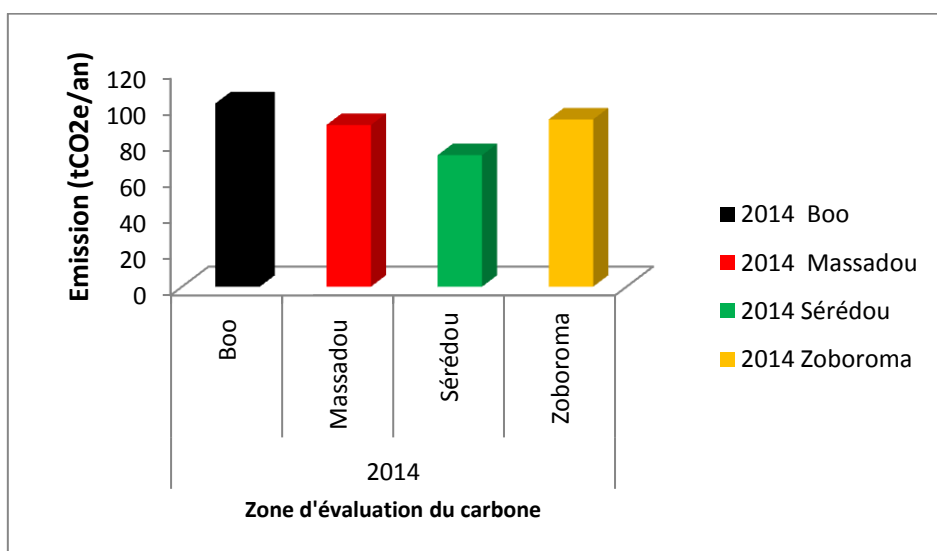


Figure 5. 6 - Estimation des émissions dans la forêt classée de Ziam en 2014

La figure 5.7 illustre le Niveau d'Emission de Référence (NERF) de carbone des zones forestières de Ziam en 2010. Il ressort que la zone de Boo indique le plus grand niveau

d'émission avec la valeur moyenne de 101, 58 teCO₂/an, suivi de Zoboroma et de Massadou qui sont respectivement 92,75 et 89,65 teCO₂/an et le plus bas niveau d'émission est observé dans la zone de Sérédou 72,91 teCO₂/an.

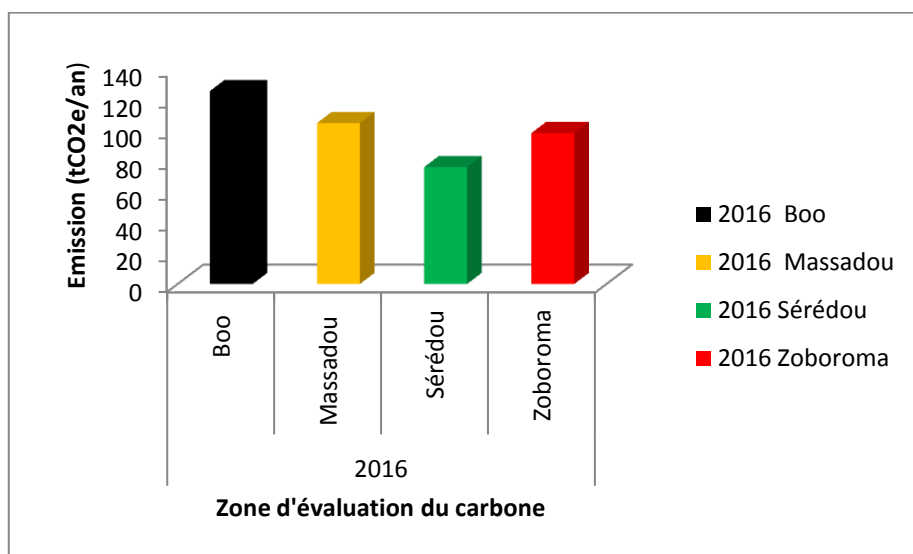


Figure 5. 10 - Estimation des émissions dans la forêt classée de Zياما en 2016

La figure 5.10 illustre le Niveau d'Emission de Référence (NERF) de carbone des zones forestières de Zياما en 2010. Il ressort que la zone de Boo indique le plus grand niveau d'émission avec la valeur moyenne de 125,30 teCO₂/an, suivi de Massadou et de Zoboroma qui sont respectivement 104,56 et 98,08 teCO₂/an et le plus bas niveau d'émission est observé dans la zone de Sérédou 75,96 teCO₂/an.

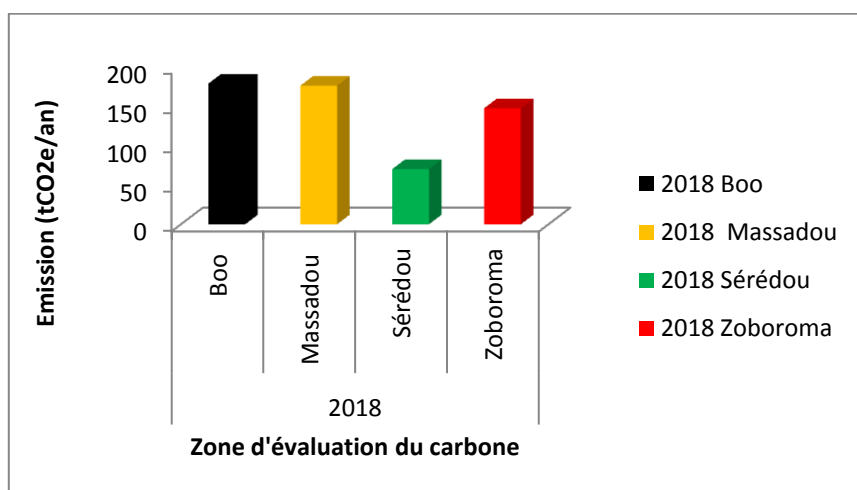


Figure 5. 7 -Estimation des émission dans la forêt classée de Zياما en 2018

La figure 5.11 illustre le Niveau d'Emission de Référence (NERF)de carbone des zones forestières de Zياما en 2010. Il ressort que la zone de Boo indique le plus grand niveau d'émission avec la valeur moyenne de 178,47 teCO₂/an, suivi de Massadou et de Zoboroma

qui sont respectivement 175,75 et 147,13 teCO_2/an et le plus bas niveau d'émission est observé dans la zone de Sérédou 69,98 teCO_2/an .

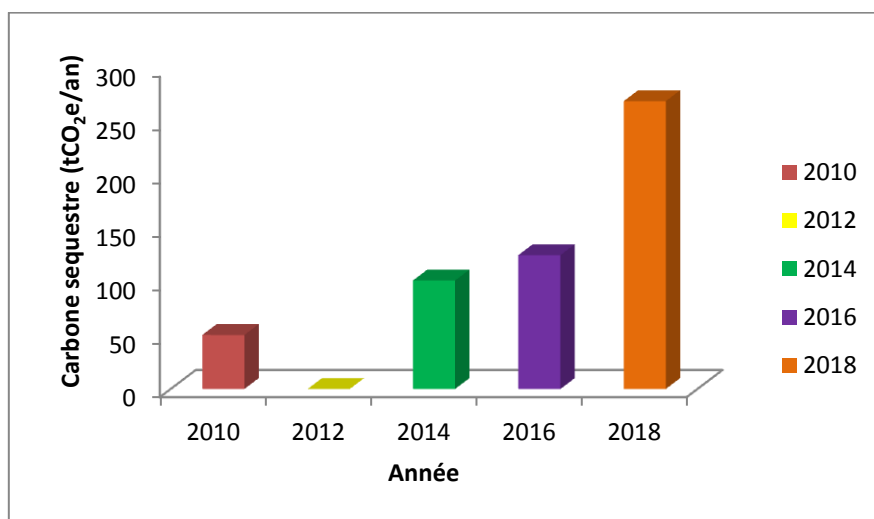


Figure 5. 8 -Taux de séquestration du carbone de 2010 - 2018 dans la forêt classée de Zياما
Le niveau de séquestration le plus important sur la période d'étude est observé en 2018 avec une estimation moyenne de 269,47 teCO_2 ; par conséquent le niveau le plus bas est enregistré en 2012 est 23,89 teCO_2 . Le NERF est de 146,6889 teCO_2/an en moyenne de 2010 – 2018.

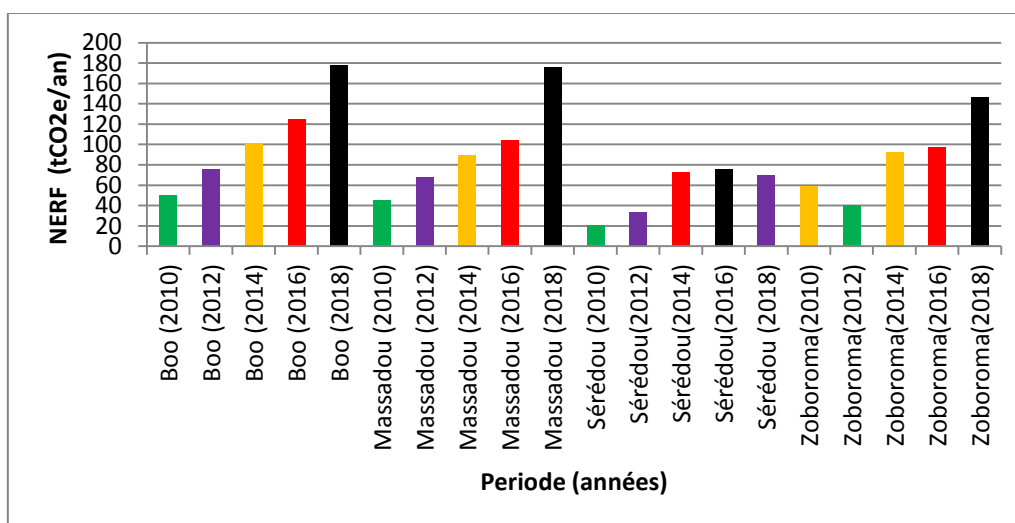


Figure 5. 9 - Niveau d'émission de Reference global

Les niveaux d'émission les plus élevés ont été observés dans les Zones de Boo en 2018 (178,47 $\text{tCO}_2\text{e/ha}$), de Massadou 2018 (175,75 teCO_2/ha), de Sérédou 2016 (75,96 teCO_2/ha) et Zoboroma 2018 (147,13 teCO_2/ha). Il est à remarquer que les forts NERF globaux sont constatés en 2018 dans les différentes zones.

La biomasse aérienne d'un arbre est estimée de façon indirecte à l'aide d'un modèle d'AGB (Aboveground Biomasse). Ainsi, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de l'arbre est la variable la plus importante, suivi de la densité du bois (DB) et de la hauteur (H) de l'arbre. En

effet, la relation entre DHP et AGB varie en fonction des espèces et des conditions environnementales. Ces dernières ont une influence sur la relation hauteur et diamètre de l'arbre.

Les inventaires ont été réalisés dans quatre (4) zones : Boo, Massadou, Sérédou Zoboroma ayant chacune une superficie de 62500 m² (250m x 250m) soit 6,25 ha délimitées dans des zones non perturbées du massif forestier de la Basse - terre. Dans l'ensemble des quatre (4) zones, 2560 arbres ont été mesurés. En l'absence de modèle d'AGB national et régional, le modèle pantropical de Chave a été utilisé pour la détermination du gradient de biomasse des différentes essences d'arbres qui varient en fonction de la zone entre 114 -302 t/ha.

Ces niveaux de gradient de biomasse aérienne semblent tout à fait s'apparenter à ceux rapportés par les travaux Dubiez et al 2016 en RDC (206-587 t/ha). Les mesures dendrométriques obtenues dans la présente étude sont aussi inférieures à celles (2560 arbres) retrouvées dans la bibliographie (N. LAPORTE et al., 2010). Un taux de recouvrement de la zone (47,14 %) a été enregistré dans les différentes placettes. Selon plusieurs auteurs (Sébastien Bauwens et al, 2013 ; E. DUBIEZ, 2013), de tel taux est tributaire des modèles statistiques destinés aux opérations de mesure et de la nature du couvert végétal. Les émissions émanant de la zone de Sérédou sont nettement inférieures à celles des autres zones à l'instar de Boo, de Zoboroma et de Massadou.

Le niveau de séquestration le plus important sur la période d'étude est observé en 2018 avec une estimation moyenne de 269,47 teCO₂ ; tandis que le niveau le plus bas est enregistré en 2012 avec une valeur de 23,89 teCO₂. Ainsi, le NERF dans la zone forestière de Ziama est de 146,69 teCO₂/an en moyenne. A travers le NERF de ladite zone, à l'aide de la méthode d'extrapolation des émissions issues de la déforestation et de la dégradation des forêts à l'échelle nationale, nous avons obtenu le NERF suivant qui est de 2880,75 teCO₂/an.

Comparativement en République du Congo, il est établi un NERF de 316520 teCO₂/an pour la biomasse aérienne (G. J. L. PANZOU, 2018) et en République Démocratique du Congo 589375 teCO₂/an pour la biomasse aérienne dont l'année de référence est de 2016 (E. ALVAREZ, A. DUQUE, J. SALDARRIAGA et al, 2016). Les émissions significatives proviennent de la dégradation forestière non planifiée (l'exploitation artisanale et semi-industrielle du bois). Ce qui est dû à l'hypothèse, que la plupart du bois pour des besoin socio-économiques et culturels proviennent du changement d'occupation du sol (activités agricoles).

Tandis que les émissions provenant de la dégradation planifiée sont très faibles, Par conséquent on suppose que ces émissions sont incluses dans la déforestation. Il est important de souligner que le faible niveau des émissions résultant de la dégradation forestière est strictement lié au taux de déforestation que le pays a connu dans le passé.

CONCLUSION PARTIELLE 2

Cette partie de la recherche nous a conduit à l'estimation de la biomasse aérienne selon les recommandations du GIEC. Le CO₂ a été le gaz retenu pour la construction du NERF de la forêt classée de Ziama. Les estimations du stock de carbone forestier dans les différentes strates forestières retenues s'appuient sur des équations allométriques pantropicale permettant de convertir les mesures biophysiques de terrain (dimensions des arbres, identification des espèces, etc.) en tonnes d'équivalent CO₂.

En l'absence d'équations allométriques nationales ou régionales disponibles pour les forêts guinéennes, en particulier la forêt classée de Ziama, il a été décidé d'utiliser les équations allométriques pantropicales de Chave et *al.* (2014) car elle intègre des données de biomasse de 1006 arbres d'Afrique tropicale.

Ainsi, une démarche prospective nous a permis d'effectuer :

- ✓ la détermination de la biomasse (BE) ;
- ✓ la détermination de la valeur moyenne des placettes représentatives dans quatre (4) Zones ;
- ✓ la détermination de la quantité de carbone du bois Extrait (CE) ;
- ✓ la détermination de la quantité des Émissions extraites (EE).

Le nombre de placettes dans les quatre (4) zones varie en fonction des classes de diamètre dans la Forêt de Ziama à côté des Villages : Boo 72, Massadou 51, Sérédou 103 et Zoboroma 89.

Il ressort de cette analyse que les essences *Funtumia elastica* (114 tonnes métriques /ha), *Uapaca guineensis* (200 tonnes métriques / ha), *Celtis mildbraedii* (130 tonnes métriques /ha), *Piptadeniastrum africanum* (302 tonnes métriques/ha), *Bosqueia angolensis* (148 tonnes métriques / ha), *Funtumia elastic* (122 tonnes métriques / ha).

Le niveau de séquestration le plus important sur la période d'étude est observé en 2018 avec une estimation moyenne de 269,47 teCO₂ ; par conséquent ; le niveau le plus bas est

enregistré en 2012 est 23,89 teCO₂. Le NERF est de 146,6889 teCO₂/an en moyenne de 2010 – 2018.

Les NERF les plus élevés ont été observés dans les Zones de Boo en 2018 (178,47 teCO₂/ha), de Massadou 2018 (175,75 teCO₂/ha), de Sérédou 2016 (75,96 teCO₂/ha) et Zobroma2018 (147,13 teCO₂/ha). Il est à remarquer les forts NERF globaux sont constatés en 2018 dans les différentes zones.

Enfin, le NERF est construit grâce à une extrapolation des émissions de la période de référence. L’extrapolation pour les émissions issues de la déforestation est essentiellement liée à ses causes indirectes (la croissance démographique et le développement des infrastructures) qui ont un effet multiplicateur sur les causes directes.

5.3 - Essai de développement d'équations allométriques multi-espèces pour la quantification du stock de carbone de quelques essences de la Guinée Forestière

Tableau 5.6 - Classification du nombre d'espèces en fonction des zones d'études

Nom	Ziama	Mont Nimba	Pic de Fon	Diécké	Béro
Nombre d'espèce (espèce <i>Trichilia Septentrionalis</i>)	101	93	61	83	37

Il ressort du tableau (5.6) le nombre de l'espèce *Trichilia Septentrionalis* collectée par zones et illustrée dans la figure 5.14

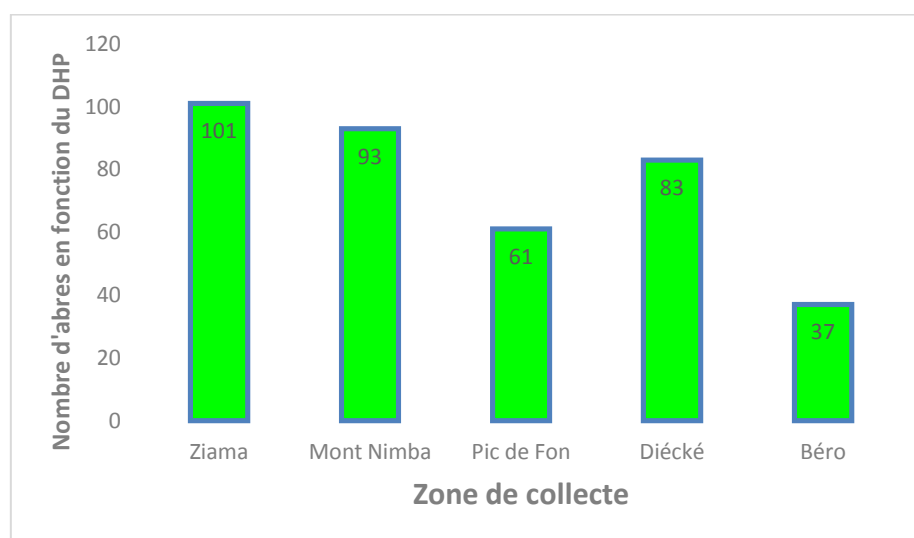


Figure 5. 10 - Classification de l'espèce *Trichilia Septentrionalis* en fonction des zones

Il ressort de la figure 5.14 que l'espèce *Trichilia Septentrionalis* collectée est plus importante dans les zones de Ziama, Mont Nimba et Diécké et moindre à Béro et au Pic de Fon.

5.3.1- Mesures dendrométriques

Le poids de la biomasse est respectivement plus élevé dans le tronc, les rameaux, les branches et les tiges (tableau 5.7). Ainsi, la lignification est plus importante dans les troncs que les autres parties de l'arbre.

Tableau 5. 4 - Répartition du poids moyen de la biomasse dans l'arbre

Variables	Poids de la matière sèche			
	Tige (kg)	Branches(kg)	Tronc (kg)	BS totale(kg)
Minimum	25,86	48,78	104,33	178,71
Maximum	78,56	98,12	124,31	300,99
Moyenne	52,21	73,45	114,32	7461,53

5.3.2- Développement des modèles allométriques par analyse des données

Plusieurs équations allométriques ont été testées afin de retenir celles qui semblent plus explicatives de la biomasse aérienne en fonction des paramètres dendrométriques. Les premiers critères d'élimination des modèles étaient le coefficient de détermination R^2 et la significativité globale de l'équation générée par le Logiciel R. Ainsi, il a été retenu les modèles suivants :

- Modèle linéaire à effet d'erreur additif :

$$B = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \dots + \beta_p D_p + \varepsilon ; \quad (5.3)$$

- Modèle non linéaire à effet d'erreur additif :

$$B = \beta_0 D_1^{\beta_1} D_2^{\beta_2} + \dots + D_p^{\beta_p} + \varepsilon ; \quad (5.4)$$

- Modèle non linéaire à effet d'erreur multiplicatif :

$$B = \beta_0 D_1^{\beta_1} D_2^{\beta_2} \dots D_p^{\beta_p} \varepsilon ; \quad (5.5)$$

Avec D_i les variables mesurées sur l'arbre β_i , les coefficients à estimer et ε le terme d'erreur. La transformation logarithmique du modèle non linéaire à effet d'erreur multiplicatif aboutit à un modèle linéaire à effet d'erreur additif. Il s'écrit :

$$\ln(B) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(D_1) + \dots + \beta_p \ln(D_p) + \ln(\varepsilon) ; \quad (5.6)$$

Après développement logarithmique et ajustement dix (10) modèles de régression ont été obtenus en fonction de la biomasse (tableau 5.5)

Tableau 5. 5-Modèles d'équations allométriques développées par régression pour la biomasse sèche.

N°	Modèles	ε	β_1	β_2	RSE	AIC
1	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot Log(D)$	-1,5	2,4	-	0,33	44,6
2	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot Log(D) \cdot \beta_2 \cdot Log(D^2)$	-1,5	2,4	0,03	0,33	45,1
3	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot Log(D) \cdot \beta_2 \cdot Log(D^2) \cdot \beta_3 \cdot Log(D^3)$	19,6	15,3	4,85	0,33	45,12
4	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot \log(D) \cdot \beta_2 \cdot \log(\rho)$	-1,18	2,36	0,87	0,29	30,71
5	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot \log(D) \cdot \beta_2 \cdot \log(D^2) \cdot \beta_3 \cdot \log(\rho)$	-0,85	2,21	0,02	0,29	31,23
6	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot \log(D) \cdot \beta_2 \cdot \log(D^2) \cdot \beta_3 \cdot \log(D^3) \cdot \beta_4 \cdot \log(\rho)$	7,99	5,17	2,05	0,29	32,01
7	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot \log(D) \cdot \beta_2 \cdot \log(H)$	-3,37	1,86	1,12	0,29	28,94
8	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot \log(D^2 \cdot H)$	-3,15	0,97		0,29	2,47
9	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot \log(D) \cdot \beta_2 \cdot \log(H) \cdot \beta_3 \cdot \log(\rho)$	-2,34	2,11	0,64	0,26	18,9
10	$Log(B) = \ln(\varepsilon) + \beta_1 \cdot \log(D^2 \cdot H) \cdot \log(\rho)$	-2,77	0,95	0,69	0,26	16,91

Les coefficients β_1 , β_2 et ε sont les paramètres ajustés des modèles. **RSE**-Erreur standard résiduelle et **AIC** - le critère d'information d' Akaike

Parmi les dix (10) modèles, six (6) équations tiennent compte du diamètre et de la densité et parmi ces modèles le meilleur modèle est celui ayant un AIC de 30,71 et un RSE de 0,2989. Il s'écrit :

$$B = \exp \left\{ \left(-1,18172 \cdot D^{2,56} \cdot \rho^{0,97} \right) \cdot \left(\frac{(0,2989)^2}{2} \right) \right\} \quad (\Delta 1)$$

Par contre, seulement quatre équations tenant compte du diamètre, de la hauteur et la densité ont été élaborées, parmi lesquelles le modèle 10 est le meilleur, avec un AIC de 16,91 et un RSE de 0,26. Il s'écrit :

$$B = \exp \left\{ \left(-2,7745 \cdot (D^2 \cdot H)^{0,98} \right) \cdot \rho^{0,78} \left(\frac{(0,2989)^2}{2} \right) \right\} \quad (\Delta 2)$$

Les critères de sélection et de validité des modèles sont basés d'abord sur les tests de normalité, nullité, hétérogénéité et autocorrélation des résidus. Ensuite est effectuée, l'analyse des erreurs notamment l'erreur résiduelle, l'erreur résiduelle standard (RSE) et le critère d'information d'Akaike (AIC).

Les modèles retenus sont les plus adaptés pour les différentes zones du fait qu'ils présentent moins de biais pour les gros diamètres et prédisent bien les petits sujets. Dans la plupart des cas, la biomasse des gros diamètres est légèrement sous-estimée. Elle pose moins de problèmes en termes de calcul d'additionalité que dans le cas de la surestimation pour lequel on prétend comptabiliser plus de carbone que la réalité.

5.3.3 - Discussion des résultats de prédiction et d'ajustement

Les valeurs de l'erreur absolue relative moyenne de prédiction font ressortir que le biais relatif est important (supérieur à 32%). Il est du même ordre de grandeur que celui trouvé par Ngomanda et al. (2014) à savoir 35-47%. La qualité de l'équation dépend de la représentativité des données à travers une gamme assez large de diamètre et la taille de l'échantillon (équation 6).

En effet, les modèles de Chave et al., de type « moist » sont les meilleurs étant établis avec un nombre important de données (1506 et 1348 pour les équations 6 et 10 respectivement). Ces résultats confirment les limites des équations locales (notamment l'équation (8) généralement réalisées sur un nombre réduit d'échantillon d'arbres et sur une gamme restreinte de la densité du bois. De l'analyse des résultats de prédiction, nous pouvons tirer deux leçons fondamentales :

- ✓ Les équations locales existantes permettent d'atteindre la précision nécessaire pour se passer des équations pantropicales de Chave et al ;
- ✓ Une large gamme de diamètres est requise pour assurer une meilleure qualité des équations.

De l'analyse de ces résultats d'ajustement, dans le cadre de la recherche de la forme du modèle, il apparaît nécessaire de partir d'un modèle général avec les différents prédicteurs comme appliqué dans les travaux de Chave et al. (20014) et Ngomanda et al. (2014) ; puis par la méthode de sélection régressive, rechercher les meilleurs avec des scénarios.

Il est à retenir que Jérôme Chave suggère l'utilisation en forêt tropicale humide le modèle « wet forest », qui signifie « forêt humide » dans le cas où la hauteur totale des arbres est disponible ... biomasse des forêts tropicales humides Modèle d'**Equation** de régression **Chave** et al. 2014.

5.3.4 - Sélection des équations allométriques

Dans le cadre de la sélection des équations allométriques, l'équation (Δ_1) a une erreur résiduelle et un AIC élevé. Tandis que l'équation (Δ_2) a une erreur résiduelle égale à 0,044 soit 4,43% et un AIC plus faible par rapport à l'équation (Δ_1). Ce qui signifie que le modèle de puissance est plus explicatif pour la biomasse aérienne de l'espèce *Trichilia Septentrionalis* en Guinée forestière.

CONCLUSION PARTIELLE 3

L'étude de l'essai de développement des équations allométriques multi-espèces de quelques essences forestières en Guinée, nous a permis d'élaborer une équation qui permet d'estimer le niveau de séquestration du carbone par une espèce forestière spécifique.

Pour évaluer les émissions du carbone forestier, plusieurs modèles allométriques ont été développés pour prendre en compte la dimension carbone dans les écosystèmes forestiers. Malgré ces efforts, peu d'études ont fait référence en Afrique et particulièrement dans les forêts classées de la République de Guinée.

L'estimation de la quantité de carbone séquestrée par la végétation ligneuse nécessite la mise en place d'une base de calcul cohérente et précise. L'élaboration d'un modèle spécifique se justifie à plus d'un titre. En effet, beaucoup de modèles allométriques utilisés jusqu'à présent ne tiennent pas compte des spécificités de l'espèce. Pour l'estimation du carbone d'un peuplement spécifique, nous considérons que 40 - 50% de la biomasse sèche est constitué de carbone dans la végétation ligneuse.

L'application des modèles aux données d'inventaire de la chronoséquence des forêts classées Ziama, Mont Nimba, Boré, Pic de Fonc et Diécké montre que les outils utilisés actuellement dans la pratique (Bouchon, 1982) sous-estiment fortement les stocks de houppier qui

représentent pourtant l'essentiel de la biomasse potentiellement utilisable pour les besoins en bois énergie. Pour l'estimation des stocks de carbone forestier à l'échelle nationale, l'emploi d'équations de biomasse donne des résultats plus précis (10 %) que l'estimation successive d'un volume puis d'une masse.

Les critères de sélection et de validité des modèles sont basés d'abord sur les tests de normalité, nullité, hétérogénéité et autocorrélation des résidus. Ensuite est effectuée, l'analyse des erreurs notamment l'erreur résiduelle, l'erreur résiduelle standard (RSE) et le critère d'information d'Akaike (AIC).

Parmi les dix (10) modèles, six (6) équations tiennent compte du diamètre et de la densité et parmi ces modèles le meilleur modèle, avec un AIC de 30,71 et un RSE de 0,2989. Par contre, seulement quatre équations tenant compte du diamètre, de la hauteur et la densité ont été élaborés, parmi lesquels le modèle 10 est le meilleur, avec un AIC de 16,91 et un RSE de 0,26. Il s'écrit :

L'équation (Δ_1) a une erreur résiduelle égale à 0,044 soit 4,43% et un AIC plus faible par rapport à équations (Δ_2) qui a une erreur résiduelle élevée en même temps que l'AIC. Ce qui les disqualifie de la sélection. Ce qui signifie que le modèle puissance est le plus explicatif de la biomasse aérienne de l'espèce *Trichilia Septentrionalis* en Guinée forestière.

Cette équation est élaborée pour les essences des forêts classées de la Guinée forestière sous un climat de type Subéquatorial. Ces résultats pourraient être utilisés pour évaluer la quantité de carbone atmosphérique séquestrée par cette espèce et aider les décideurs à prendre des décisions en matière de politique d'adaptation au changement climatique.

Enfin, les résultats de l'étude pourraient stimuler l'introduction de l'espèce dans les pratiques agricoles où elle n'existe pas avec l'objectif de capter le carbone, réduire les gaz à effet de serre (carbone) mais aussi de procurer des revenus aux producteurs ruraux dans le cadre du marché de carbone.

5.4 - Évaluation et suivi de la biomasse aérienne végétale ligneuse des forêts classées de la Guinée Forestière sur la base d'imagerie satellitaire (données).

La biomasse ligneuse aérienne présente un gradient de biomasse allant de 22,91 - 278,48 t/ha. Les valeurs élevées sont concentrées dans les Forêts classées de Ziama et du Mont Nimba. Cependant, il faut noter que des biomasses importantes sont obtenues pour les forêts du Mont Béro et du Pic de Fonc. Les biomasses faibles s'observent dans le Nord du Mont Béro, au Sud du Pic de Fonc et à l'Ouest du Ziama. Dans ces zones, la végétation se caractérise par un

couvert d'arbres clairsemés de taille plus réduite que celle des forêts denses humides. Ce paysage est dominé par la réflectance du sol nu.

Le modèle statistique développé pour cette étude montre que 79% de variance du gradient de la biomasse ligneuse aérienne enregistre une erreur quadratique moyenne de 11,51 t/ha avec un coefficient de corrélation de 0,87. La relation entre le gradient biomasse et la hauteur du couvert végétal a permis d'aboutir à des résultats issus des données lidar du Système Laser Altimétrique Géoscience (GLAS) pour les grands arbres associés aux biomasses les plus élevées et les petits arbres aux biomasses plus faibles.

Il est à noter, que la biomasse forestière est liée à la taille des arbres, (*DHP*, la hauteur et densité) et le nombre d'arbres par unité de surface. Les mesures lidar sont donc très utiles pour estimer la biomasse. Ce qui confirme, que nos résultats sont cohérents avec ceux des autres études Lidar de la biomasse des forêts tropicales (A. FAYOLLE 2017 ; A. RAZAGUI et N.E.I BACHARI, 2016).

Cette évaluation nous a permis de faire des estimations de stocks de carbone par types de végétation, par zone ou pour l'ensemble de de la région. Le stock de carbone total estimé dans la zone d'étude par les données MODIS (Cf tableau 5.6) avec l'essentiel du carbone contenu dans les forêts denses humides et de la classe de mosaïque.

Tableau 5. 6 - Estimation de la biomasse aérienne et du stock de carbone total à partir des données MODIS GLC 2000 dans les forêts classées de la Guinée forestière.

Nom	Surface (ha)	Biomasse (t)	Gradient (t/ha)	Carbone organique (teCO ₂ /ha)
Ziama	119 019	5251849	17,58 - 544,12	60,53
Nimba	19 500	1958741	25,39 - 300,44	42,18
Béro	23 600	456987	5,36 - 159,36	8,13
Pic de Fonc	25 600	2365987	12 - 192,42	38,81
Diécké	64 000	3589743	21,73 - 196,08	23,55
Total	251 719	13623307	278,48	173,21
Nasi et al 2011(RDC)	5043	31496587	56,17- 849,16	1275,88
Gibbs et al 2014(Gabon)	465,51	2548697	24,25 - 178,21	356,87

Le tableau ci-dessus présente les résultats des estimations de stock de carbone (en tonnes) pour les Forêts et les Réserves biosphériques de la Guinée Forestière comparés aux études de Nasi et al. (2011) et de Gibbs et al. (2014). De façon générale, notre méthodologie a permis d'obtenir des estimations supérieures à celles de Gibbs et al. (2014) et inférieures à celles de Nasi et al. (2011). Ces résultats obtenus à partir des données MODIS pourraient être considérés comme des valeurs moyennes du gradient de biomasse et des estimations de stock

de carbone pour ces différentes Forêts et Réserves de cette zone de la Guinée. Néanmoins, nous constatons qu'il y a deux (2) zones où nous avons obtenu des valeurs plus élevées par rapport aux études susmentionnées, à savoir la forêt classée de Ziama (17,58 - 544,12 t/ha et 60,5304teCO₂/ha) et de la Reserve de la biosphère du Mont Nimba (25,39 - 300,44 t/ha et 42,1848teCO₂/ha).

CONCLUSION PARTIELLE 4

L'Afrique a l'un des plus grands blocs de forêts humides tropicales au monde et possède un potentiel d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) élevé. La connaissance précise de la quantité et de la distribution du carbone dans ces forêts nous permettra d'évaluer avec exactitude les émissions de CO₂ associées à la déforestation et la dégradation. En outre, elle nous a permis de faire un état des lieux sur la variabilité du couvert végétal de la Guinée.

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé les données de base de l'Indice de Végétation Normalisée (NDVI) à partir de capteurs de MODIS et de la plateforme combinée TERRA/AQUA. La comparaison des valeurs NDVI calculées à partir des images SEVIRI montre une sous-estimation par rapport à celles calculées à partir du NOAA AVHRR.

Les résultats obtenus à partir des données MODIS pourraient être considérés comme des valeurs moyennes du gradient de biomasse et des estimations de stock de carbone pour ces différentes Forêts et Réserves de zone. Néanmoins, nous constatons qu'il y a deux (2) Zones où nous avons obtenu des valeurs plus élevées par rapport aux études susmentionnées, à savoir la forêt classée de Ziama (17,58 - 544,12 t/ha et 60,53 teCO₂/ha) et de la Reserve de la biosphère du Mont Nimba (25,39 - 300,44 t/ha et 42,18 teCO₂/ha).

En terme de recommandations, il est nécessaire de renforcer les investissements dans la région forestière guinéenne afin d'apporter des solutions aux multiples problèmes dûs aux phénomènes de changements climatiques et aux exigences d'un développement durable. En outre, de réorganiser la politique de gestion et de sauvegarde de cette zone forestière en matière d'exploitation.

Tableau 5. 7- Analyse comparative des méthodes d'estimation de la biomasse et du niveau séquestration.

Méthodes	Nom	Surface (ha)	Nbs arbres	Biomasse (t)	Gradient (t/ha)	Carbone séquestré (teCO ₂ /ha)	Equations allométriques
Inventaire forestier	Nimba	1,2	100	403,48	77,722	173,48	Chave et al 2005
		1,2	100	239,68	28,26	83,11	Ebuyiet al 2011
Equations allométriques pantropicales	Ziama	6,25	250	3562,45	114.11	146,69	Chave et al 2014
Capteurs optiques	Ziama	119 019	250	5251849	17,58 - 544,12	60,53	GF
	Nimba	19 500	100	1958741	25,39 - 300,44	42,18	GF
	Béro	23 600	90	456987	5,36 - 159,36	8,13	GF
	Pic de Fon	25 600	76	2365987	12 - 192,42	38,81	GF
	Diécké	64 000	147	3589743	21,73 - 196,08	23,55	GF
	Guinée Bissau	6,25	-	-	0-335	187,01	Carreiras et al., 2012
	Sierra Leone	25	-	-	0-400	258,56	Laurin et al.,2014
Equations allométriques locales	Ziama	6,25	250	28003,09	86,11	140,89	Guinée
	Nimba	1,2	100	321,58	52,991	128,29	Guinée
	Béro	2	90	151,45	15 -87	45,69	Guinée
	Pic de Fonc	2	76	98,42	8-53	23,87	Guinée
	Diécké	3	147	268,96	156,45	107,56	Guinée
	Gabon	10	100	-	333,87	123,45	Ngomanda et al. (2014)
	Cameroun	3,5	150	-	351 - 147	96,45	Fayolle et al. (2013)

CONCLUSION GENERALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

L'étude scientifique du développement des modèles allométriques pour l'estimation du niveau de séquestration du carbone par les forêts, nous a permis d'appréhender et de comprendre les aspects liés à la dégradation, à la déforestation et au mécanisme de gestion durable des puits de carbone (forêts).

L'objectif de cette recherche était de vérifier la validité des équations allométriques pantropicales afin d'évaluer la biomasse et le potentiel de séquestration de carbone dans les écosystèmes forestiers en Guinée. En outre, il s'appuiera sur le développement d'un modèle d'équation allométrique local spécifique, permettant de quantifier la séquestration des émissions du carbone par les forêts. Par ailleurs, cette étude a consisté à comparer les résultats des différentes méthodes de calcul de la biomasse dans les différents sites d'études.

Pour aborder cette étude, nous avons effectué une série d'opérations faisant l'état des lieux des forêts classées de la Guinée Forestière. Ce qui nous a permis de faire une analyse spatio-temporelle de ces forêts classées. Il ressort de ces analyses que les forêts primaires représentent 52% des étendues, les forêts secondaires 18 %, les forêts de galerie environs 3 %, les formations arbustives de transition 5 % et les Autres surfaces qui sont constituées des nappes d'eau, du tissu urbain, des champs agricoles, des mines et des carrières sont estimés à 23 %.

En général, ces analyses, nous permettent de souligner le constat suivant sur cette période d'étude (1990-2019) : les surfaces des forêts primaires restent constantes à 52% soit 65742,46 ha ; les surfaces des forêts Secondaires régressent de 25% (1990) à 18% (2019) soit une perte nette de 7% environs 19000,70 ha qui correspond à une déforestation de 633,33 ha par an, les forêts galeries ont connu une diminution de 5% (1990) à 3 % (2019) soit une perte de 2%, les formation arbustives de transition ont connu une dégradation de 9% (1990) à 5 % (2019) soit une perte de 4 %, tandis que celles des autres surfaces constituées des nappes d'eau, du tissus urbains, des champs de culture, des mines et carrières ont progressé de 9% (1990) à 23 % (2019) soit une augmentation de 14% qui correspond à 38 468,14 ha, qui met en évidence une hausse des superficies occupé à environ 1 282,27 ha par an liée aux activités anthropiques : l'urbanisation et l'exploitation des ressources résultant de la déforestation ou de la dégradation du couvert végétal dans cette zone. Ces résultats confirment les travaux du DNEF (2015).

Suite à cet état des lieux, nous avons procédé aux tests de validité des équations allométriques pantropicales dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba. Les données ont été collectées

sur une parcelle ayant une surface de 1,2 ha, pour un échantillon de 100 arbres à DHP (*Diamètre à Hauteur de Poitrine*) compris entre 10 et 110 cm.

Les échantillons d'arbres ont été inventoriés et mesurés. Les estimations de stocks de Carbone (C) ont donné les résultats suivants : 19,57 tC/ha pour l'équation de Chave et al. 2005 ; 13,36 tC/ha, pour l'équation d'Ebuyi et al (2011). Par ailleurs, il est à noter que l'équation de Chave stocke plus de carbone dans cette forêt. Toutefois, il apparaît une variation de stock de carbone entre les classes de diamètres. En effet, cette étude montre que la capacité d'une forêt à stocker le carbone dépend principalement de la classe de diamètre des arbres.

Dans le cadre de l'établissement du NERF, des données ont été collectées dans la forêt classée de Zياما sur quatre (4) zones : Boo, Massadou, Sérédou et Zoboroma ayant chacune une superficie de 62500 m² (250m x 250m) soit 6,25 ha et 2560 arbres. Ainsi, un gradient de biomasse par essence est estimé comme suit : *Funtumia elastica* (114t/ha), *Uapaca guineensis* (200 114t/ha), *Celtis mildbraedii* (130 114t/ha), *Piptadeniastrum africanum* (302 114t/ha), *Bosqueia angolensis* (148 114t/ha), *Funtumia elastic* (122 114t/ha).

Les émissions de CO₂ ont suivi une tendance croissante durant la période 2010-2018. Elles ont totalisé 175,89 teCO₂ en 2010 et ont évolué sans interruption pour atteindre 571,33 teCO₂ en 2018. Le niveau de séquestration le plus important sur la période d'étude est observé en 2012 avec une estimation moyenne de 269,47 teCO₂ ; tandis que le niveau le plus bas obtenu est de 23,89 teCO₂ en 2018. Ainsi, le NERF dans la forêt classée de Zياما est de 146,69 teCO₂/an en moyenne.

Pour ce qui est du développement de notre modèle d'équation allométrique pour la région forestière de la Guinée, les critères de sélection et de validité des modèles sont basés sur les tests de normalité, de nullité, d'hétérogénéité et d'autocorrélation des résidus. Ensuite nous avons effectué, l'analyse des erreurs résiduelles, des erreurs résiduelles standard (RSE) et le critère d'information d'Akaike (AIC).

Parmi les dix (10) modèles développés, six (6) équations tiennent compte du diamètre et de la densité. Les modèles avec un AIC de 30,71 et un RSE de 0,2989 sont les plus cohérentes. Par contre quatre équations tenant compte du diamètre, de la hauteur et la densité ont été élaborés, parmi lesquels le modèle (Δ_1) est le plus précis, avec un AIC de 16,91 et un RSE de 0,26.

L'équation (Δ_1) a une erreur résiduelle égale à 0,044 soit 4,43% et un AIC plus faible par rapport à l'équation (Δ_2) qui a une erreur résiduelle élevée en même temps que l'AIC. Ce qui

les disqualifient de la sélection. C'est ainsi, le modèle sous forme de puissance est le plus explicatif de la biomasse aérienne de l'espèce *Trichilia Septentrionalis* en Guinée Forestière.

Cette équation est élaborée pour les essences des forêts classées de la Guinée forestière sous un climat de type subéquatorial. Ces résultats pourraient être utilisés pour évaluer la quantité de carbone atmosphérique séquestrée par cette espèce et aider les décideurs à prendre des décisions en matière de politique d'adaptation au changement climatique.

Les estimations par télédétection à partir des données MODIS, ont permis obtenir les résultats la valeur moyenne du gradient de biomasse et le stock de carbone pour ces différentes Forêts et Réserves de la zone forestière guinéenne. Néanmoins, nous constatons qu'il y a deux (2) Zones où nous avons obtenu des valeurs plus élevées par rapport aux résultats mentionnés, à savoir la forêt classée de Ziama (17,58 - 544,12 t/ha et 60,5304teCO₂/ha) et de la Reserve de la biosphère du Mont Nimba (25,39 - 300,44 t/ha et 42,1848teCO₂/ha).

Nos travaux de recherche ont montré que l'équation allométrique pantropicale de Chave et al (2005) tend à sous-estimer la biomasse aérienne dans les forêts classées de la Guinée Forestière. Le modèle d'équations allométriques que nous avons développé, apporte plus de précision sur la valeur de la biomasse aérienne que celle de Chave et al. En outre, il ressort des deux (2) méthodes (par Inventaire forestier et par les capteurs optiques), une convergence vers un même résultat aux incertitudes près.

Les résultats obtenus permettront à la Guinée et les pays qui ont les mêmes types de couvert végétal, de se doter des arguments sur les capacités de la végétation ligneuse à absorber le carbone atmosphérique et de développer les fondements d'une contribution positive visant à améliorer l'état de l'atmosphère par des activités de renouvellement du couvert végétal tout en inscrivant de telles activités dans le sens d'un profit durable pour les populations locales.

Enfin, il faut souligner que les émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts primaires sont insignifiantes comparées à la séquestration. Cependant, il faudra s'assurer de la durabilité de cet état de fait par des stratégies adéquates de préservation des formations forestières, du reste fortement entamé par une exploitation irrationnelle.

Le manque de procédures pérennes de collecte de données pour l'inventaire et la faiblesse du cadre institutionnel.

✓ RECOMMANDATIONS

En termes de recommandations, il serait nécessaire de faire l'état des connaissances des mécanismes de développement propre, du crédit et de la comptabilité carbone ; chemin vers

intégration du mécanisme REDD+ ; ainsi que la création d'un laboratoire d'étude de la biomasse pour le développement des équations allométriques endogènes pour le suivi et la mesure des stocks de carbone forestier et une commission nationale REDD+ pour l'étude sur le problème de neutralité de la dégradation des terres en Guinée.

✓ **PERSPECTIVES**

Comme perspective, il serait intéressant de poursuivre ce travail en élaborant des équations allométriques spécifiques pour différents types de peuplement et d'essences forestières sur toute la Guinée en procédant à une caractérisation des types de forêts et des différents modèles de végétation suivant les zones microclimatiques afin d'améliorer le degré de fiabilité des équations allométriques. D'autres modèles peuvent être envisagés comme des modèles de végétation et des modèles climatiques plus robustes pour une meilleure compréhension de la dynamique des écosystèmes forestiers guinéens.

L'étude des liens entre déforestation, émissions, séquestration du carbone et les changements climatiques devrait en ce sens être envisagée, en prenant en compte d'autres variables biophysiques jouant un rôle dans l'activité du cycle biogéochimique des écosystèmes forestiers, comme le climat ou le relief, en intégrant également les composantes humaines. L'établissement des corrélations entre ces différentes variables et les émissions permettra d'approfondir la connaissance des causes de la dégradation des forêts et contribuera à la mise en place des méthodes de gestions efficaces et durables des forêts en Guinée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] - Adaptation Fundy, 2015. Project and Programs.<https://www.adaptation-fund.org/fond-projets> ;

[2] - AGRA, 2014. Africa agriculture status report : Climate change and smallholder production in sub-Saharan Africa. Nairobi, Kenya. 218 ;

[3] - Aguilar E., Barry A.A., Brunet M., Ekang L., Fernandes A., Massoukina M., Mbah J., Mhanda A., do Nascimento D.J., Peterson T.C., Uamba O., Tomou M. and Zhang X., 2009. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006. In : Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 114, D02115, doi : 10.1029/2008JD011010,

[4] - Angelsen, A., Brockhaus M., Kanninen M., Sills E., Sunderlin W.D., Wertz-Kannounikoff S., 2009. Realising REDD+ national strategy and policy options <http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2871>. html. Introduction, pp. 1-9 ;

[5] - Archives de données de la station scientifique du Mont Nimba (Rapport de 2000 à 2010) ;

[6]- Brown. S. Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer.FAO Forestry Paper 134, Rome, Italy1997;

[7]- Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts, Stratégie National du Développement Durable Février 2019;

[8]- Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts: Stratégie Nationale sur le Changement Climatique (SNCC) Septembre 2019;

[9]- Chave. J.Andalo. C. Brown, S. Cairns, M.A. Chambers, J. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *ecologia* 145, 87–992005:

[10]- Aboubacar KABA, Annuaire des Statistiques de l'Environnement (2018) Institut National de la Statistique, Décembre 2019

[11]- Jordon ETZianis D. Mencuccini. On simplifying allometric analyses of forest biomass, *Forest Ecology and Management* 311-332- 2003.

[12]- Ebuyi et al Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides du Cameroun (2011)

[13] - Karen HaHn-Hadjali, Rüdiger Wittig, Marco SchMidt, georg ZiZKa, adjima HioMbiano, briceSinSin « Etat actuel de la biodiversité en Afrique de l'Ouest Current state of biodiversity in West Africa Aout 2016 »

[14] - Elhadj Maadjou BAH, Ansoumane KEÏTA, Alpha Issaga Pallé DIALLO, Oury Bobo KOULIBALY, Document final de la stratégie nationale sur la diversité biologique 2016 - 2025 pour la mise en œuvre des objectifs d'AICHI en Guinée, Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts (2019)

[15] - Samba Dorisca et al, Établissement d'équations entre le diamètre et le volume total de bois des arbres, adaptées au Cameroun, bois et forêts des tropiques, 2011N°302 (2),

[16] - Adeline FAYOLLE et al, Protocole de collecte des données dendrométriques sur le terrain et au laboratoire, université de liège Gembloux Agrobiotech 2016.

[17] - Julien Morel, thèse de doctorat : Estimation de la biomasse de canne par modélisation et télédétection. Application à la Réunion. Université de la Réunion U.F.R de sciences et technologies le 3 Juillet 2014 ;

[18] -Anass MARZOUKI et al. Apport des images MODIS dans l'analyse et suivie du phénomène de la désertification dans les hauts plateaux de l'oriental ; Université Mohammed Premier - Oujda Faculté des Lettres et des Sciences Humaines 2014 ;

[19] - Laporte. N al. Une première estimation de la biomasse ligneuse aérienne d'Afrique sur la base d'Images satellites et d'inventaires-Woods Hole Research Institute (WHRC)-2010 ;

[20] - Djiramba Diawara, L'Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Juillet 2001.

[21] - Mamadou Oury Bah et Bernard Jean avec la collaboration de José Trouvé, Forêts, politique Forestière et gestion des ressources naturelles en Guinée -institut de recherche des nations unies pour le développement social (UNRISD) ;

[22] - Nicolas Delorme, Aménagement forestier en Guinée : Etude de cas, CIRAD-Forêt Campus International de Baillarguet BP 5035 34032 Montpellier cedex 1 France ;

[23] - A. Razagui et N.E.I Bachari : Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images satellites NOAA et MSG, Département de Physique, Faculté des Sciences, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf, B.P 1505, El M'Nouar, 31000, Oran, Algérie ;

[24] - Gibbs H K, Brown S, Niles J O and Foley J A 2007 Environ. Res.Lett. 2 04-5023 ;

[25] - Nasi R.et al, 2008. State of the Forest 2008 : The forests of the Congo basin.

[26] - SOLA et al, construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres : de la mesure de terrain à la prédiction ; Département des forêts-Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2014) ;

[27] -F. TRAORE et B. ZOUMANA, Seconde communication nationale a la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts Conakry -Guinée (2018) ;

[28] -N. DELORME, Aménagement Forestier en Guinée, étude de cas (1998)

[29]-S. Brown, et al, Impact of selective logging on the carbon stock of tropical forests: Republic of Congo as a case study. winrock international, Virginia (2005), p. 21;

[30] -A. A NYONGOLO, ‘Niveau d'Emissions de Référence des forêts pour la réduction des émissions dues à la déforestation en République Démocratique’ du Congo (2018) ;

[31] -Mory Fodé DIANÉ, Incidences des activités anthropiques sur les stocks de carbone dans la forêt classée de kouradi, Kindia, Centre d'Étude et de Recherche en Environnement (CERE), Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, avril, 2017,

[32] -H. DJOMBO et al, Niveau des Emissions de Référence pour les Forêts (NERF) de la République du Congo Coordination Nationale REDD Janvier 2016 ;

[33] -Sandra Labrecque, Cartographie de la biomasse forestière à l'aide des données d'inventaire forestier et des images TM de Landsat, Département de géographie et télédétection, Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Sherbrooke, Août 2004

[34] -S. DORISCA et al, Etablissement d'équations entre le diamètre et le volume total de bois des arbres, adaptées au Cameroun (2011) ;

[35] -A. FAYOLLE (2017), Protocole de collecte des données sur le terrain et au laboratoire RDC

[36] - A. BIWOLE, J. MORIN-RIVAT, A. FAYOLLE et al ‘New data on the recent history of the littoral forests of southern Cameroon’: an insight into the role of historical human disturbances on the current forest composition. *Plant Ecology and Evolution* 148(1): (2015) 19–28;

[37] -N. KEITA et al, Annuaire des Statistiques forestières (2004-2013). Banque Africaine pour le Développement, PNUD, Conakry-Guinée, (2015) ;

[38] -Diakité, D, Diallo, M. S, Ekstrom, J. (2010). Plan d'Aménagement et Plan de Gestion de la Forêt Classée du Pic de Fon 2010- 2030. Centre Forestier N'Zérékoré. Rio Tinto Simfer S.A.

[39]-J. CHAVE et al, Improved allometric models to estimate the above ground biomass of tropical trees. *global change biology* (2014);

[40] -S. THIAM et al, Élaboration de modèles allométriques d'Acacia Sénégal L. Willd pour l'analyse du carbone ligneux en milieu sahélien : cas de la zone sylvopastorale au Sénégal, Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), Faculté des Sciences et Techniques

(FST), Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Dakar, Sénégal, Afrique SCIENCE 10(3) (2014) 304 – 315 ;

[41] -Projet FEM-PNUD -GUI/97/G33, Communication Initiale de la Guinée à la CCNUCC, Conakry, Août 2002

[42] - O. BOUYER et al, Préfaisabilité de projets REDD+ en Guinée Conakry rapport final 18-24 p (2010) ;

[43] -E. ALVAREZ, A. DUQUE, J. SALDARRIAGA et al. Tree above-ground biomass allometries for carbon stock estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297–308 ; (2012) ;

[44] - Ministère de l'environnement, des eaux et forêts direction nationale des eaux et forêts. Conakry Annuaire des Statistiques forestières 2004 – 2013, Novembre 2015 ;

[45] -Méthodologie régionale pour l'établissement des équations allométriques pour les forêts du bassin du Congo édition (2014)

[46] -G. J. L. PANZOU ; Biomasse et stocks de carbone en Afrique centrale : importance de l'allométrie des arbres ; Communauté française de Belgique université de liège – Gembloux Agro-Bio tech (2018) ;

[47] - A. RAZAGUI et N.E.I BACHARI, Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images satellites NOAA et MSG, Département de Physique, Faculté des Sciences, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf, Algérie (2016) ;

[48] -J. MOREL, Estimation de la biomasse de canne par modélisation et télédétection. Application à la Réunion. Université de la Réunion U.F.R de sciences et technologies – (2014) ;

[49] -A. MARZOUKI et al., Apport des images MODIS dans l'analyse et suivie du phénomène de la désertification dans les hauts plateaux de l'oriental ; Université Mohammed Premier - Oujda Faculté des Lettres et des Sciences Humaines (2014) ;

[50] - N. LAPORTE et al., Une première estimation de la biomasse ligneuse aérienne d'Afrique sur la base d'Images satellites et d'inventaires-Woods Hole Research Institute (WHRC)-(2010) ;

[51] -D. DIAWARA, Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Juillet (2010).

[52] -E. DUBIEZ, Evolution de la ressource ligneuse et des stocks de carbone dans le bassin d'approvisionnement en bois énergie de la ville de Kinshasa (RDC) (2013) ;

[53] -M. Henry et al, Formation des cadres du Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie en comptabilité carbone 15-17 p (2009) ;

[54] -Diallo, I. K. (1989). Historique et Evolution de la Foresterie guinéenne. Conakry et RG Eaux et Forêts.

[55] -Méthodologie régionale d'établissement des équations allométriques pour les forêts du bassin du Congo ;

[56]-Brockhaus M et Angelsen A. 2012. Seeing REDD+ through 4Is: A political economy framework. Dans Angelsen A, Brockhaus M, Sunderlin W et Verchot LV, édés. *Analysing REDD+: Challenges and Choices*. Bogor, Indonésie : CIFOR. 1–12.

[57]-Verchot et al emissions factors: Converting land use change to CO 2 estimates. Dans Angelsen A, Brockhaus M, Sunderlin WD et Verchot L, édés. *Analysing REDD+: Challenges and Choices*. Bogor, Indonésie: CIFOR. 261–78.

[58]-Romijn E et al (2013). Exploring different forest definitions and their impact on developing REDD+ reference emission levels: A case study for Indonesia. *Environmental Science & Policy* 33:246–59.

[59]-Dorvil, W. (2010). Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales Humides de Guadeloupe. Université des Antilles et de la Guyane. Montéran Saint-Claude : Université des Antilles et de la Guyane.

[60] -GIEC (2014). L'atténuation du changement climatique 2014 "Résumé à l'intention des décideurs résumé technique". Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

[60] -Herold M, Angelsen A, Verchot LV, Wijaya A et Ainembabazi JH. 2012. A stepwise framework for developing REDD+ reference levels. Dans Angelsen A, Brockhaus M, Sunderlin WD et Verchot L, édés. *Analysing REDD+: Challenges and Choices*. Bogor, Indonésie: CIFOR. 279–99.

[61] -Romijn E, Herold M, Kooistra L, Murdiyarso D et Verchot L. 2012. Assessing capacities of non-Annex I countries for national forest monitoring in the context of REDD+. *Environmental Science & Policy* 19–20:33–48.

[62] -Murdiyarso D, Brockhaus M, Sunderlin WD et Verchot L. 2012. Some lessons learned from the first generation of REDD+ activities. *Current Opinions in Environmental Sustainability* 4:678–85.

[63]-Herold M, Verchot L, Angelsen A, Maniatis D et Bauch S. 2012. *A step-wise framework for setting REDD+ forest reference emission levels and forest reference levels*. CIFOR InfoBrief No. 52. Bogor, Indonésie : CIFOR.

[64] -[CCNUCC] Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques 2011. Décision 12/CP 17 sur les principes relatifs à des systèmes de communication d'informations sur la manière dont les garanties sont prises en compte et respectées et sur les modalités relatives aux niveaux d'émission de référence pour les forêts et aux niveaux de référence pour les forêts visées par la décision 1/CP 16 : annexe I, décisions de la COP 17

[65] -Pratihast AK, Herold M, de Sy V, Murdiyarso D et Skutsch M. 2013. Linking community-based and national REDD+ monitoring: A review of the potential. *Carbon Management* 4(1) : 91–104

[66] -Van Breugel M. et al., 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *For. Ecol. Manage.*, 262(8), 1648-1657.

[67] -Ryan C.M., Williams M. & Grace J., 2011. Above- and belowground carbon stocks in a miombo woodland landscape of Mozambique. *Biotropica*, 43(4), 423-432.

Saatchi S.S. et al., 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 108(24), 9899-9904.

[68] -King D.A., 1996. Allometry and life history of tropical trees. *J. Trop. Ecol.*, 12(1), 25-44,

[69] -Chave J. et al., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biol.*, 20, 3177-3190.

[70] -Zolkos S.G., Goetz S.J. & Dubayah R., 2013. A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing. *Remote Sens. Environ.*, 128, 289-298.

[71] -Willcock S. et al., 2014. Quantifying and understanding carbon storage and sequestration within the eastern Arc Mountains of Tanzania, a tropical biodiversity hotspot. *Carbon Balance Manage.*, 9, 2.

[72] -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*. Rome : FAO ; Montpellier, France : CIRAD.

[73] -Picard N., Boyemba Bosela F. & Rossi V., 2015. Reducing the error in biomass estimates strongly depends on model selection. *Ann. For. Sci.*, 72(6), 811-823.

[74] -Ndjondo M. et al., 2014. Opportunity costs of carbon sequestration in a forest concession in central Africa. *Carbon Balance Manage.*, 9(1), 1-13,

[75] -Diallo Mamadou Lamarana, Bangoura Kandè et Traoré Lébè : Inventaire National des Gaz à Effet de Serre en Guinée (document synthèse), Projet FEM-PNUD-GUI/97/G33;

- Conakry Février 2000 ;
- [76] -Mitchard E.T.A. et al., 2012. Mapping tropical forest biomass with radar and space borne LiDAR in Lopé National Park, Gabon: overcoming problems of high biomass and persistent cloud. *Biogeosciences*, 9(1), 179-191.
- [77] - Kuyah S. et al., 2012b. Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: II. Belowground biomass. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 158, 225-234.
- [78] -Kuyah S. et al., 2014. Estimating aboveground tree biomass in three different miombo woodlands and associated land use systems in Malawi. *Biomass Bioenergy*, 66, 214-222.
- [79] -King D.A., 1996. Allometry and life history of tropical trees. *J. Trop. Ecol.*, 12(1), 25-44 ;
- [80] -Condé B. et al Étude de vulnérabilité des secteurs de l’agriculture et de la foresterie ;
- Projet FEM-PNUD/GUI/97/G33 ; Conakry- 2000 ;
- [81] -Ministère de l’Environnement, des Eaux et Forêts Direction Nationale des Eaux et Forêts, Banque Mondiale et PNUD « Annuaire des Statistiques Forestières 2004 – 2013 », Conakry, Novembre 2015
- [82] -Sebastien Bauwens et al « Erratum du Protocole de collecte des données sur le terrain et au laboratoire nécessaires pour quantifier la biomasse aérienne des arbres et pour l’établissement d’équations allométriques » 029/COMIFAC/SE/PREDD+/SPM/2013 ;
- [83] -Grace Jopaul Loubota Panzou, Biomasse et stocks de carbone en Afrique centrale : importance de l’allométrie des arbres, Université de Liège Agro-bio Tech Gembloux 2018,
- [84] -Quentin MOUNDOUNGA MAVOUROULOU « Développement des équations allométriques afin d’estimer les stocks de carbone séquestrés dans la forêt primaire du nord-est du Gabon, Afrique centrale » Université des Sciences et Techniques de Masuku, Faculté des Sciences Département de Biologie.
- [85] -Bamba Z. et Traoré A.F. 2012. Synthèse des études de vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques dans le cadre du Projet seconde Communication Nationale.
- [86] -Jean-Paul Amat, Lucien Dorize, Emmanuèle Gautier, *Éléments de géographie physique*, éditions Bréal, 2008, p. 373 ;
- [87] -Hulme, M., Wigley, T.M.L. Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A., Smith, S. and Chipanshi, A.C. 2000. Using a climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments -MAGICC and SCENGEN version 2.4 Workbook, Climatic research Unit, Norwich, UK, 52 pages.

[88]-La Déforestation en Tunisie en Chiffres 2010-2018 , Tunelyz, 5 juin 2019 évolution des plantations forestières et pastorales, Portail Open Data du Ministère de l'agriculture tunisienne, 4 janvier 2019,

[89] -Astrid Genet, des modèles robustes et génériques de biomasse. Exemple du hêtre, Rev. For. Fr. LXIII - 2-2011.

[90] -Matieu Henry, Antonello Salis, Adams Winston Asante, Rapport final : formation des cadres du Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie en comptabilité carbone, Kombissiri, Burkina Faso Décembre 2009,

[91] -Magassouba B. et Doumbouya S. 2009. Inventaire des GES dans le secteur du Changement d'Utilisation des Terres et de la Foresterie. Projet SCN,

[92] -Gestion intégrée de la terre et de l'eau pour l'adaptation à la variabilité et au changement climatique au mali « Guide méthodologique Estimation du potentiel de séquestration du carbone au Mali » Novembre 2013,

[93] -Winrock, I. (2004). Exploration du potentiel de déséquestration du carbone dans les lesforêts classées de la République de Guinée. Le Groupe des services d'écosystèmes de Winrock International. L'Agence des États-Unis pour le développement international,

[94] -Tchatchou, B. Sonwa, D. J. Ifo, S. Tiani, A.M. (2015). *Déforestation et dégradation des forêts dans le Bassin du Congo:État des lieux, causes actuelles et perspectives*. Bogor, Indonésie: Centre de recherche forestière internationale (CIFOR). International (CC BY 4.0), <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

[95] -Limoges, B. (2014) Valeurs économiques et socioculturelles de la réserve naturelle de Kounounkan, Guinée, et recommandations en matière de biodiversité et de changements climatiques.

[96] -Hamidou, A. Boubé, M., Mahamane, A. Mahamane, S. Abassa, I. (2012). Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le complexe des forêts de classées de Dan kada Dodo - Dan Gado (région de Maradi, Niger). Journal des Sciences de l'Environnement,

[97] -Ndayizeye, A., Diallo. S. 2014. Stratégie nationale d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre(GES) en Guinée, projet SCN pp Conakry ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[98] -OMM, 2011. Connaitre le climat pour agir : un cadre mondial pour les services climatologiques afin de renforcer la position des plus vulnérables. Genève, Suisse ;

[99] -Faya TRAORE, Zoumana BAMBA et Mamadou Lamarana DIALLO, Seconde communication nationale a la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques, Conakry, juillet 2018 ;

[100] -CNI, 2002. Communication Nationale Initiale de la Convention Cadre des Nation Unis sur le Changements Climatique, PROJET FEM/PNUD GUI/97/G33.

[101] -Condé B., Keita I et Diallo T. B. 2000. Étude de vulnérabilité et d'adaptation du secteur de l'agriculture aux changements climatiques en Guinée. Projet Seconde Communication Nationale Guinée ;

[102] -Zianis D, Mencuccini M, 2003, On simplifying allometric analyses of forest biomass,

Forest Ecology and Management 187, 311-332 ;

[103] -Nogueira E. M., Fearnside P. M., Nelson B. W., Barbosa R. I. and Keizer E. W. H.,

2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. Forest Ecology and Management 256, 1853–1867 ;

[104] -Madelaine-Antin C., 2009. Dynamique des peuplements forestiers tropicaux hétérogènes : variabilité inter et interspécifique de la croissance des arbres et trajectoires de développement en forêt dense humide sempervirente. 258 p ;

[105] -King D. A. 2005. Linking tree form, allocation and growth with an allometrically explicit model. Ecological Modelling 185:77-91 ;

[106] -Ketterings et al., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests, Forest Ecology and Management 146, pp. 199–209 ;

[107] -Durieu de Madron L. (2008). Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour les forêts de la Guadeloupe, de la Martinique et de la Réunion. 88 p ;

[108] -Détienne P. et Jacquet P. 2010. Atlas d'identification anatomique des bois de Guadeloupe et de Martinique. In "Dendrologie des Petites Antilles", B. Rollet éd., Office National des Forêts ;

[109] -Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Fo'lster,

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, 87–99 ;

[110] -Basuki T.M., Van Laake P.E., Skidmore A.K. and Hussin Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* **257**, 1684-1694 ;

[110] -Asner G. P., Hughes R. F., Varga T. A., Knapp D. E. and Kennedy-Bowdoin T., 2009. Environmental and Biotic Controls over Aboveground Biomass Throughout a Tropical Rain Forest. *Ecosystems* 12, 261–278 ;

[112] -Aiba, S. and Kitayama, K., 1999. Structure, composition and species diversity in an altitude–substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology* 140, 139–157 ;

[113] -GOOD PLANET. 2011, année des forêts : le sens des chiffres de la déforestation, 12 mai 2011, Good Planet.info, <http://www.goodplanet.info/Contenu/Focus/2011> ;

[114] -BALLET, Jérôme. La soutenabilité des ressources forestières en Afrique subsaharienne francophone : quels enjeux pour la gestion participative, *Monde en développement*, n° 148, avril 2009, p.31-46 ;

[115] - Centre d'actualités de L'ONU. L'Afrique au deuxième rang mondial de la déforestation, 31 mars 2006, <http://www.un.org/apps/newsFr/story> ;

[116] - ÉTIENNE, Jean. Déforestation, assèchement : l'Afrique pousse un cri d'alarme, 13 juin 2008, *Futura-Environnement*, <http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/developpe>.

[117] -CADU, Clotilde. La déforestation touche l'Afrique, 13 juin 2007, *Le Monde.fr*, <http://www.lemonde.fr/planete/article/2007/06/13/1>

[118] - AFRIQUE AVENIR. La déforestation : causes et conséquences, 15 avril 2010, [En ligne], <http://www.afriqueavenir.org/2010/04/15/climat-pre>

[119] - ALN et Al. La déforestation abusive met en péril les pygmées, 10 mai 2007, Gabon, <http://www.infosplusgabon.com/article.php>;

[120] - CLIMATE FRONTLINES. Complexités de la déforestation et droits autochtones : perspectives d'Afrique centrale, 21 avril 2009, <http://www.climatefrontlines.org/fr/node/186> ;

[121] -RODAS, Flores. Plan d'action forestier tropicale, <http://www.fao.org> ;

[122] - LOISEL, Cyril. Dialogue international et négociations climat résumé processus Paris-Oslo, 2010, http://www.cbfp.org/docs/rapports_act/CCRKinshasa;

[123] - ROGER, Alice. PARC NATIONAL DES PLATEAUX BATÉKÉ : Évaluation d'un potentiel écotouristique, Montpellier, Université Paul Valéry, juin 2005, 123 p.

[124] - AFP. Commerce frauduleux du bois : Gabon et UE visent un accord avant fin 2011, 25 septembre 2010, BDP MODWO, <http://www.bdpmodwoam.org/articles/2010/09/25/comm>;

[125] - Alternatives économiques (2008), « La pauvreté, terreau de la déforestation », Paris, n°265.

[126] - Alternatives Sud (2006), « Changements climatiques : impasses et perspectives », Paris-Louvain-la-Neuve, Syllepse-CETRI, Vol. XIII, n°2.

[127] - Banque mondiale (2004), www.go.worldbank.org/IEG2T30IS0.

[128] - Banque mondiale (2007), « La Banque mondiale recommande une meilleure gestion de la forêt et une utilisation plus soutenue des marchés de CO2 », Communiqué de presse n°2007/114/DEC.

[129] - Berthelot J. (2008), « Démêler le vrai du faux sur la flambée des prix agricoles mondiaux », www.france.attac.org.

[130] - Carrere R. et Colchester M. (2005), « The World Bank and forests : a tissue of lies and deception », www.wrm.org.uy.

[131] - CIFOR (2008), www.cifor.cgiar.org.

[132] - CIRAD (2007), Atelier international sur les politiques forestières et la « déforestation évitée », www.cirad.fr/fr/presse/communiqu.php?id=305.

[133] - CIRAD (2008), www.cirad.fr/fr/regard_sur/foret.php.

[134] - Delacote Ph. (2008), « La pauvreté, terreau de la déforestation », *Alternatives économiques*, n°265.

[135] - Duterme B. (1999), « Comment la déforestation a aggravé l'ouragan Mitch », *Amérique centrale*, édition spéciale.

[136] - FAO (2007), *Situation des forêts du monde 2007*, Rome.

[137] - FAO (2008), www.fao.org/forestry.

[138] - Forest People Programme (2008), *Le Fonds de partenariat pour le carbone forestier*, Moreton-in-Marsh, Briefing de FPP, février.

[139] - Global Forest Watch (2008), www.globalforestwatch.org.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[140] - Griffiths T. (2007), 'RED' *Alerte rouge ? La 'déforestation évitée' et les droits des peuples autochtones et des communautés locales*, Moreton-in-Marsh, FPP.

[141] - Houtart F. (2008), *Les agrocarburants*, manuscrit à paraître.

[142] - Karsenty A. (2003), « Les causes sous-jacentes de l'essor de l'exploitation illégale des bois tropicaux », *Actes du XIIIe Congrès forestier mondial*, Québec, Bibliothèque nationale du Québec.

[143] - Karsenty A. (2006), « Enjeux méconnus de l'économie du bois », *Le Monde diplomatique*, juillet 2008.

[144] - Karsenty A. (2007), « La conférence de Bali sur le climat – interview », www.pacte-ecologique.org.

[145] - Lamotte Ph. (2008), « Main basse sur les forêts tropicales », *Le Vif/L'Express*, 4-10 avril 2010.

[146] - Lovera S. (2007), « La disminución de la deforestación en el Convenio sobre el Clima : se trata de financiar bosques, plantaciones empresas forestales », *Cobertura Forestal*, www.globalforestcoalition.org.

[147] - National Geographic (2007), « Amazonie : que reste-t-il de la forêt ? », n°89, février.

[148] - OIBT (2006), www.itto.or.jp/live/PageDisplayHandler?pageId=199, 25 mai.

[149] - Pirard R. et Karsenty A. (2007), « Changement climatique : faut-il récompenser la 'déforestation évitée' ? », *Nature sciences sociétés*, 15(4).

[150] - Pnud (2000), www.undp.org/povertyreport/exec/french.html.

[151] - Reyes O. (2008), « Cuando el dinero crece en los arboles », www.tni.org.

[152] - Rossi G. et André V. (2006), « La biodiversité : questions de perspectives », *Annales de géographie*, vol. 115, n°651.

[153] - United Nations (2008), *Non-legally binding instrument on all types of forests*, Resolution adopted by the General Assembly, 62/98.

[154] - The Canadian Chamber of Commerce (2007), www.chamber.ca.

[155] - World Rainforest Movement (2007), *Transgenic Trees*, Montevideo, WRM Briefing.

[156] - World Rainforest Movement (2008), www.wrm.org.uy.

[157] - Zacharie A. (2008), « Investir dans la souveraineté alimentaire », *Imagine*, n°67, mai-juin ;

[158] - http://fr.wikipedia.org/wiki/Moderate-Resolution_Imaging_Spectroradiometer

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [159] - <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>
- [160] - <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>
- [161] - https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_pays_du_monde_par_superficie_foresti%C3%A8re
- [162] - <https://www.observatoire-comifac.net/publications/edf>
- [163]-<http://www.osfaco.org/conference-des-images-satellites-pour-la-gestion-durable-des-territoires-en-afrique/>
- [164]-https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2018/nrs_2018_nowak_005.pdf Declining urban and community tree cover in the United States. David J. Nowak, Eric J. Greenfield. Urban Forestry & Urban Greening. Retrieved January 8, 2019 ;
- [165] - Sékou TRAORE, Aménagement de la Forêt classée de Zياما (Réserve de la Biosphère), Direction Nationale des Eaux et Forêts, parc de Camayenne, bp 624, conakry (République de Guinée), Rev. For. Fr. LIII - numéro spécial 2001 ;
- [166] - Nicolas Picard et al, Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres De la mesure de terrain à la prédiction, Département Environnements et Sociétés Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement Août 2012 ;
- [167] - Nicolas Delorme, Aménagement forestier en Guinée : Etude de cas, CIRAD-Forêt Campus International de Baillarguet BP 5035 34032 Montpellier cedex 1 France1998 ;
- [168] - Robert Nasi et al, Aperçu des stocks de carbone et leur variation dans les forêts du bassin Congo 2008 ;
- [169] - Audin P., Camara N., Labrousse R., Ly A., Samby S., Sylla B., Tilkin G. (1996) *Une Expérience de Gestion de l'Espace Rural et des Forêts en Guinée*. Projet GERF, Préfecture de Mamou. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et des Forêts, Direction Nationale des Forêts et de la Faune (République de Guinée). Ministère de la coopération, Mission de Coopération et d'Action Culturelle (République Française). 1996, 208 p.
- [170] - Jean-Yves MASSENET, Mesures dendrométriques des essence forestiers, Lycée forestier – Château de Meunières – 76270 MESNIERES-EN-BRAY12/09/2005.

ARTICLES

Tableau. 1- Nombre d'espèces forestière à bois rouges dans la réserve de la biosphère du Mont Nimba Ziéla-Lola

N°	Nom usuel	Nom Scientifique	Famille
1	Acajou	<i>Khaya grandifolia</i>	Meliaceae
2	Sipo	<i>Entandrophragma utile</i>	Meliaceae
3	Kossipo	<i>Entandrophragma candollei</i>	Meliaceae
4	Sapelli	<i>Entandrophragma Cylindricum</i>	Meliaceae
5	Niangon	<i>Terrieta utilis</i>	Sterculiaceae
6	Dibetou	<i>Lovoa trichiloïdes</i>	Meliaceae
7	Bois d'or (Sibo)	<i>Sarcocephalus pobeguinii</i>	Rubiaceae
8	Bako	<i>Erythroxylum mannii</i>	Erythoxylaceae
9	Tiama blanc	<i>Entandrophragma angolense</i>	Meliaceae
10	Makoré / Douka	<i>Tieghemella heckelii</i>	Sapotaceae
11	Lengué	<i>Azelia africana</i>	Caesalpiniaceae
12	Azobé	<i>Lophira alata</i>	Ochnaceae
13	Ebène	<i>Diospyros crassiflora</i>	Ebenaceae
14	Mukulungu	<i>Austranella congolensis</i>	Sapotaceae
15	Ako / Upas antiar	<i>Antiaris toxicaria</i>	Moraceae
16	Bossé clair	<i>Guarea cedrata</i>	Meliaceae
17	Iroko	<i>Milicia excelsa</i>	Moraceae
18	Sau-rouge	<i>Isoberlinia doka</i>	Caesalpiniaceae
19	Iatandza	<i>Albizia ferruginea</i>	Mimosaseae
20	Aningeria	<i>Aningeria robusta</i>	Sapotaceae
21	Ovengkol	<i>Guibourtia ehie</i>	Caesalpiniaceae
22	Avodiré	<i>Turraeanthus africanus</i>	Meliaceae
23	Véne	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	Fabaceae
24	Fraké	<i>Terminalia superba</i>	Combretaceae
25	Dabéma	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	Fabaceae
26	Movingui	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	caesalpiniaceae
27	Petercia / Abalé	<i>Petersia africana</i>	Lecythidaceae
28	Framiré	<i>Terminalia ivorense</i>	Combretaceae
29	Popo	<i>Mitragynia ciliata</i>	Rubiaceae
30	Faro	<i>Daniellia oliveri</i>	caesalpiniaceae
31	Néré sauvage	<i>Parkia bicolor</i>	Mimosaceae
32	Dongio sauvage Bahé	<i>Fagara macrophylla</i>	Rutaceae
33	Samba / Ayous / Abachi	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	Sterculiaceae
34	Albizia / Iatandza	<i>Albizia ferruginea</i>	Mimosaceae

Tableau.2- Caractéristiques physiques des différentes essences forestières dans le bassin forestier de la Guinée

Nature	Type	Propriété physique	Appellations scientifiques	Appellations commerciales	Applications
Bois	Rouge	Grande résistance mécanique et hydraulique	Milicia escelsa	Iroko	Construction en bois
			Cedreta odorata	cedreta	
			Kayar Ivorinsis	Cajou	
			Kayar grandifoliola		
			Helitrophilome macré	Baco	
			Entendo fragma itile	sipo	
			Entendo fragma kandolé	Cocipo	
			Entendo fragma angolesie	Tiama	
	Jaune	Moyenne résistance mécanique et hydraulique	Terminaria superba	Frake	Charpente, chevron et bastin
			Terminalia ivorensis	Framire	
			Discoglipremma kalomnera	Disco	
			Nuclea diderrichii		
	Blanc	Faible résistance mécanique et hydraulique	Ceiba pentandra	Fromage	Coffrage et papeterie
Bombax Kostatum			Kapokié de la savane		
Bombax bionopozens			Kapokié de la foret		
Hannoa klairia					

Tableau.3- Evaluation des paramètres physiques des échantillons par placette dans le bassin forestier de la Guinée

Non	Surface	Longitude (W)	Latitude (N)	Altitude	Numéros placette	Classe de diamètres	
						DBH > 10cm	DBH < 10cm
Forêt de Ziama	1600 m ² (40m x 40m)	9°.18722	08°.2349 1	530 m	1	32	32
	1600 m ² (40m x 40m)	9°.18700	08°.2357 9	544 m	2	32	32
	1600 m ² (40m x 40m)	9°.18664	08°.2361 9	537 m	3	32	32
	1600 m ² (40m x 40m)	9°.18651	08°.2365 6	534 m	4	32	32
	1600 m ² (40m x 40m)	9°.18586	08°.2371 9	539 m	5	32	32

ANNEXES

	40m)							
Forêt de Mont Nimba	1600 (40m x 40m)	m ²	9.43755	8.3756	1027 m	1	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.43752	8.37562	1027 m	2	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.43761	8.37555	1027 m	3	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.43417	8.38116	1027 m	4	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.435	8.38121		5	32	32
Forêt de Diécké	1600 (40m x 40m)	m ²	9.31401	8.3954	799 m	Piste Kyaya ivorensis 1	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.31446	8.39505	794 m	Piste Kyaya ivorensis 2	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.30456	8.38589	600 m	Piste Cleistopholis patens 1	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.30478	8.3858	603 m	Piste Cleistopholis patens 2	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.30503	8.38573	618 m	Piste Cleistopholis patens 3	32	32
Forêt de Béro	1600 (40m x 40m)	m ²	9.34588	8.39022	524 m	1	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.34343	8.39264	538 m	2	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.34329	8.39293	543 m	3	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.34319	8.39312	547 m	4	32	32
	1600 (40m x 40m)	m ²	9.3431	8.39296	554 m	5	32	32



Figure 1. Système agroforestier (Zone forêt secondaire dans Sérédou-Malwéta)

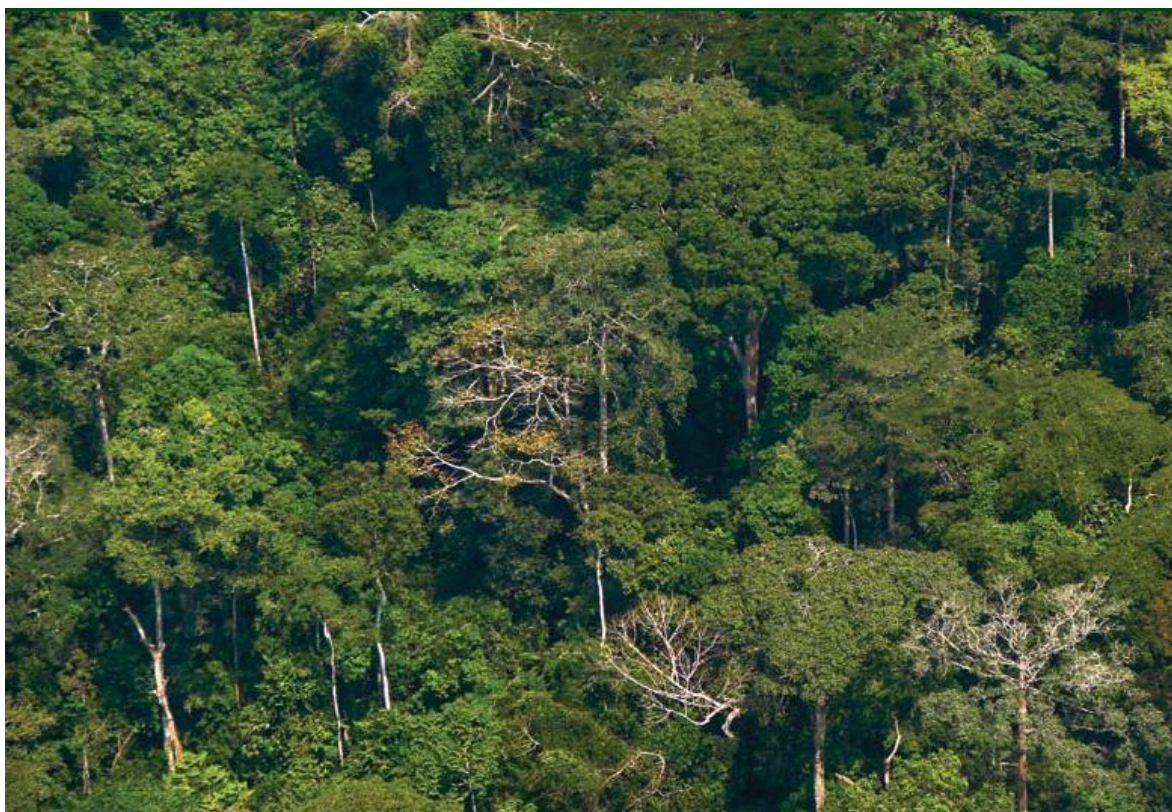


Figure 2. Vue de la Forêt primaire de Ziamia



Figure 3. Appareillage de mesure