



HAL
open science

Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche: cas de la forêt classée de Wari-marou au Centre-Bénin

Yaya Issifou Moumouni, Yaya Issifou Moumouni, Ousséni Arouna, Nourou Toko Issaka, Ismaïla Toko Imorou, Soufouyane Zakari, Mama Djaouga

► To cite this version:

Yaya Issifou Moumouni, Yaya Issifou Moumouni, Ousséni Arouna, Nourou Toko Issaka, Ismaïla Toko Imorou, et al.. Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche: cas de la forêt classée de Wari-marou au Centre-Bénin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi : Dynamique des territoires et développement*, 2017, 17. hal-01688993

HAL Id: hal-01688993

<https://hal.science/hal-01688993v1>

Submitted on 7 Feb 2018

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.

Revue de géographie du Laboratoire Leïd

Dynamiques des territoires et développement



N° 17
Décembre 2017

ISSN 0851-2515

Université Gaston Berger – Sénégal

www.univi.net/rgll

2000 FCFA

Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi (RGLL): N° 17, déc. 2017

1. Lazare **TIA**, Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS). 01 BP 10609 Abidjan 01, Côte d'Ivoire. Bébé **KAMBIRE**, Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS). 01 BP 10609 Abidjan 01, Côte d'Ivoire. Armand **KANGAH** Institut de Géographie Tropicale (IGT), UFR des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS), Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire: ltia@gmx.com

Poids des vidangeurs privés dans la gestion des eaux usées et excréta à Abidjan Sud, Côte d'Ivoire, pp. 1-16

2. **ADJOUSI** Pessièzoum, Maître-assistant, département de géographie, FSHS, Université de Lomé: adjoussi@hotmail.com. **N'KERE** Komi, Maître-assistant, Département de géographie, FSHS, Université de Lomé. **SOUROU** Essopassi, Doctorant, département de géographie, FSHS, Université de Lomé.

Gestion des inondations dans la basse vallée du Zio à travers l'exemple du quartier d'Agoezongo à Lomé, pp. 17-37

3. Yaya **ISSIFOU MOUMOUNI**, Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin : kismy12@gmail.com. Ousséni **AROUNA**, Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin: kismy12@gmail.com/Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques : arounaousseni@gmail.com. Nourou **TOKO ISSAKA** Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin: kismy12@gmail.com. Ismaïla **TOKO IMOROU**, Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin, kismy12@gmail.com. Soufouyane **ZAKARI**, Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin, kismy12@gmail.com. Mama **DJAUGA**, Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin: kismy12@gmail.com. **Contact:** arounaousseni@gmail.com

Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche: cas de la forêt classée de Wari-Marou au Centre-Bénin, pp. 38-56

4. Lansine Kalifa **KEITA**, Assistant à la Faculté d'Histoire et de Géographie, à l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako: lansinekeita353@yahoo.com. Sina **COULIBALY**, Assistant à la Faculté d'Histoire et de Géographie, à l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako: sinacoulibaly1963@yahoo.fr. Assétou **KEITA**, Assistante à la Faculté d'Histoire et de Géographie, à l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako: assetou74@yahoo.fr. Odiouma **DOUMBIA**, Assistant à la Faculté d'Histoire et de Géographie, à l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako: d.odiouma@yahoo.com. Gaoussou **SAMAKÉ**, Assistant à la Faculté d'Histoire et de Géographie, à l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako: gaoussousamak@yahoo.fr

La dynamique agraire et l'impact de la culture du coton sur les populations dans le cercle de Kangaba, pp. 57-70

5. CISSOKHO Dramane, Doctorant au Département de Géographie - Université Assane Seck de Ziguinchor, BP 523 Ziguinchor, Sénégal: cissokhodramane@yahoo.fr. **BENGA** Alvares G. F., Enseignant-chercheur au Département de Géographie - Université Assane Seck de Ziguinchor, BP 523 Ziguinchor, Sénégal: abenga@univ-zig.sn

Bois de feu, migration internationale et transferts de fonds : une relation en place à Golmy, pp. 71-86

6. BECHI Grah Félix et **DONGO** Kouassi Arsène. Département de Géographie, Université Alassane Ouattara de Bouaké (Côte d'Ivoire).

Les ménages à l'épreuve du déficit d'accès à l'électricité à Bouaké: quelles alternatives?pp. 87-105

7. Bineta **FAYE**, Laboratoire de Climatologie et Environnement (LCE), UCAD, Dakar, Sénégal: binetafayesane@gmail.com. Mame Aïssatou **TOURE**, Laboratoire de climatologie et d'environnement (LCE), UCAD, Dakar, Sénégal : aishatoure02@gmail.com. Dr **Guilgane FAYE** (Maitre de Conférences), Laboratoire de géomorphologie, UCAD, Dakar, Sénégal: fayguilgane@yahoo.fr

Dynamique de la dégradation des terres dans la Commune de Loul Sessène (Fatick, Sénégal), pp. 106-125

8. Kacou Firmin Randos **ANDIH**, Centre de Recherches Architecturales et Urbaines (CRAU)/Université Félix Houphouët-Boigny: andihrandos@yahoo.fr. Yagnama Rokia Ouattara **COULIBALY**, Centre de Recherche en Ecologie (CRE)/ Université Nangui Abrogoua (UNA): yagnama@yahoo.fr

Le fumage traditionnel de poisson à Abidjan et ses impacts environnementaux, pp. 126-148

9. **ADOU** Diané Lucien, Maître-Assistant, Département de Géographie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa (Côte d'Ivoire): dianlucad@yahoo.fr. **ANDIH** Kacou Firmin Rundos, Centre de Recherches Architecturales et Urbaines (CRAU), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire): andihrandos@yahoo.fr. **WADJA** Jean-Bérenger Maitre-Assistant, Institut de Géographie Tropical, Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, d'Abidjan, Côte d'Ivoire: jwadja@yahoo.fr. **KOUYATE** Massaranké, Doctorante, Institut de Géographie Tropical, Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, d'Abidjan, CI.

Dynamique démographique et problématique de l'insécurité à Abidjan: cas de la commune d'Abobo, pp. 149-169

10. Pierre **CISSE**, Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA), Bamako, Mali: Pierrecisse12@hotmail.com. Moussa **SAMAKE**, Etudiant à l'Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA), Bamako, Mali

Mutations des espaces agraires des localités proches du District de Bamako : cas de la commune rurale de Sanankoroba, pp. 170-189

11. YMBA Maïmouna, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan-Côte d'Ivoire), Institut de Géographie Tropicale, 08 BP 3776 Abidjan 08: maimouna_ymba@yahoo.fr. **KAMBIRÉ** Bébé, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan-Côte d'Ivoire), Institut de Géographie Tropicale, 07 BP 744 Abidjan 07: bekambire@yahoo.fr

Analyse de la pollution bactérienne des eaux à proximité des berges de l'île de petit-bassam et son impact sur la santé des populations, pp. 190-210

12. Mama Sani ISSA; Soufouyane **ZAKARI**; Ibouraima **YABI** et Fulgence **AFOUDA**, Laboratoire Pierre Pagney «Climat, Eau, Écosystème et Développement» (LACEEDE), Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université Abomey-Calavi: yafid2@yahoo.fr; ibouyabi@gmail.com; ibouraima.yabi@flash.uac.bj. UAC (Bénin)

Vulnérabilité de la production agricole face à l'instabilité intra-saisonnière des pluies dans le Département du Borgou au Bénin, pp. 211-227

13. Matiéyendou KOMBATE, Université de Lomé, Togo. Edinam **KOLA**, Université de Lomé, Togo. Gilles **FERRÉOL**, Université de Franche-Comté, France: kombateal@yahoo.fr; edikola@yahoo.fr ; gferreol@hotmail.com

Les obstacles spatio-économiques et socioculturels à l'accès aux soins modernes de santé dans la région des Savanes du Nord-Togo, pp. 228-245

14. Dr Souleymane NIANG, Laboratoire Leïdi «DTD», ED des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS), Université Gaston BERGER (UGB). D r Tégaye **DIOP NIANG**, Laboratoire Leïdi «DTD», ED des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS), Université Gaston BERGER (UGB). Dr Cheikh Ahmed Tidiane **FAYE**, Laboratoire Leïdi «DTD», ED des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS), Université Gaston BERGER (UGB).

Dégradation chimique des sols dans les systèmes de production du Sénégal: analyse des cas du Haut Saloum, du delta du Sénégal et du Gandiolais, pp. 246-266

14. M. Khalifa DIOP, doctorant (géomorphologie et aménagement de l'espace), Laboratoire Leïdi «Dynamiques des territoires et développement». Université Gaston BERGER (UGB) de Saint-Louis (Sénégal): diopkhalifa21@yahoo.fr. Boubou Aldiouma **SY**, Université Gaston BERGER (UGB) de Saint-Louis, Laboratoire Leïdi «dynamiques des territoires et développement»: boubou-aldiouma@ugb.edu.sn

Cartographie diachronique de l'évolution des superficies maraichères dans la grande Niayes de Pikine (Dakar) face au front urbain et aux aménagements, pp. 267-282

Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche: cas de la forêt classée de Wari-Marou au Centre-Bénin

Yaya ISSIFOU MOUMOUNI¹, Ousséni AROUNA^{1 & 2*}, Nourou TOKO ISSAKA¹, Ismaïla TOKO IMOROU¹, Soufouyane ZAKARI¹, Mama DJAUGA¹

1: Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin: kismy12@gmail.com. 2: Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques: arounaousseni@gmail.com. **Contact:** arounaousseni@gmail.com

Résumé

Dans le cadre des engagements internationaux résultant du protocole de Kyoto, les stocks de carbone séquestré déduits à partir de la biomasse sont devenus des informations importantes. La variabilité de la biomasse aérienne ligneuse a été estimée dans la forêt classée de Wari-Marou. La démarche méthodologique utilisée est essentiellement basée sur l'approche «non destructive» fondée sur l'utilisation du modèle allométrique «Dry Forest » de Chave *et al.* (2005). L'unité d'observation est une placette circulaire de 15 m de rayon. Au total, 70 placettes ont été installées dans 9 différentes formations végétales. Les résultats obtenus sur 1 872 arbres de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) supérieur ou égale à 10 cm répartis en 118 espèces dans les différentes formations végétales, indiquent globalement que, les formations forestières contiennent environ 64 % de la biomasse aérienne globale de la forêt classée de Wari-Marou, soit 4 732,77 tMS/ha; les formations savaniques assurent 32,72 %, soit 2 419,82 tMS/ha et enfin les formations anthropiques apportent seulement 3,27 %, soit 242,03 tMS/ha. Le test de Student et les régressions exponentielle et puissance indiquent que plus le diamètre et la hauteur des arbres sont grands moins bien est prédite leur biomasse ; les jeunes arbres sont donc de très bons estimateurs de la biomasse. Il convient donc de calibrer un modèle plus englobant pour une valorisation complète de l'arbre afin d'évaluer de façon précise les stocks de carbone forestier.

Mots clés: biomasse, modèle allométrique, forêts tropicales sèches, estimateur, Wari-Marou.

ABSTRACT

Estimation of the variability of woody aboveground biomass in a tropical dry forest: case of the Wari-Marô classified forest in the center-Benin

As part of the international commitments under the Kyoto Protocol, sequestered carbon stocks deduced from biomass have become important informations. The methodological approach used is essentially based on the "non-destructive" approach based on the use of the "Dry Forest" allometric model of Chave *et al.* (2005). The observation unit is a circular plot of 15 m radius. In total, 70 plots were installed in 9 different vegetation types. The results obtained on 1872 trees with diameter of breast height (DBH) greater than or equal to 10 cm, distributed in 118 species in nine types of vegetation types, indicate overall that forest formations contain about 64 % of the total aerial biomass of the Wari-Marô classified forest is 4 732.77 tMS / ha, the savannah formations provide 32.72 % or 2419.82 tMS / ha, and finally the anthropogenic formations bringing only 3.27 % or 242.03 tMS / Ha. The biomass varies according to the vegetation types; within each vegetation types, it varies according to the diameter and height of the trees. Student's test and exponential and power regressions indicate that the larger the diameter and the height of the trees are, the least better their biomass is predicted; young trees are therefore very good biomass estimators. It is therefore necessary to calibrate a more inclusive model for a complete valorization of the tree in order to accurately assess the forest carbon stocks.

Key words: Biomass; allometric model, dry tropical forests, estimator, Wari-Marô.

Introduction

Les forêts tropicales, en dehors de leur rôle de réservoirs de biodiversité sont considérées aujourd'hui comme des puits de carbone dans le cadre du changement climatique. C'est pourquoi, « elles sont considérées dans les accords internationaux sur la limitation des émissions de Gaz à effet de serre (GES) et l'augmentation de la température, comme un important stock de carbone sur lequel il est facile d'agir » (Q. Molto, 2012 ; p. 14).

Dans le processus de mise en œuvre de la Convention Cadre des Nations-Unies sur le Changement Climatique, C. Mbow (2009, P.27) affirme que :

L'Afrique est comptée parmi les zones où la végétation naturelle peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre à travers la séquestration du carbone si des activités sont menées en termes de reforestation et de reconstitution des terres dégradées. Cette

considération a entraîné une attention particulière sur les capacités de fixation de carbone par les forêts et les savanes tropicales d'Afrique.

Cependant, on note « la perte de la biodiversité et l'augmentation des émissions des Gaz à Effet de Serre (GES) liées à la déforestation et la dégradation des forêts dues aux actions anthropiques en zone tropicale » (Q. Molto, 2012, p. 9). Selon GOFC-GOLD (2016, p. 10) « les émissions annuelles de carbone provenant de la déforestation et de la dégradation tropicales au cours des années 2000 ont représenté environ 10 à 20 % des émissions anthropiques totales des GES ». C'est pourquoi le mécanisme REDD+ (Reducing emissions from deforestation and forest degradation) encourage les pays en voie de développement à limiter les émissions de GES dues par la déforestation et la dégradation des forêts. La limitation de la déforestation et de la dégradation des forêts génère un "crédit carbone" qui est une prime aux efforts de protection des forêts. Pour accéder à ce "crédit carbone" une quantification des stocks et flux de carbone entre les différents types de végétation est indispensable. Y. Bocko *et al.* (2017, p. 439) a signalé que «l'insuffisance des données portant sur les stocks de carbone des différents pools forestiers, ainsi que le manque de suivi de leurs variations retardent l'installation du mécanisme REDD+ » qui permettra aux pays d'accéder au "crédit carbone".

Des efforts importants ont été faits au niveau régional pour améliorer les bases de données sur les stocks de carbone en intégrant à la fois des méthodes indirectes (télédétection) que directes par des mesures *in situ* (C. Mbow, 2009, p. 29; M. Kaire *et al.*, 2013, p. 3; B-T. Vroh *et al.*, 2014, p. 332). Cependant, « ces données demeurent encore faiblement représentatives par rapport à la grande variabilité de la biomasse forestière en zone tropicale » (Y. Bocko *et al.*, 2017, p. 439). Il est alors nécessaire et urgent d'évaluer la quantité de la biomasse forestière à travers plusieurs unités phytogéographiques afin de disposer d'une base de données fiables qui permettra aux pays africains d'accéder au "crédit carbone".

Au Bénin, les travaux relatifs à l'évaluation du carbone forestier ont porté pour la plupart sur les stocks de carbone du sol ou sur la dynamique du flux de carbone entre les écosystèmes terrestres et l'atmosphère (E. Agbo, 2016, p0 16 ; S. Guendehou *et al.*, 2014, p. 5; G. Ajonina, 2013, p. 10 ; A. Saïdou *et al.*, 2012, p. 4). Jusque-là, très peu de recherches se sont focalisées essentiellement sur l'estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse au Bénin.

La forêt classée de Wari-Marô est l'une des forêts classées du Bénin qui regorgent encore de végétation naturelle en dépit de toutes les pressions anthropiques (Y. Issifou Moumouni, p.49). Cette forêt classée est constituée de formations végétales fermées et ouvertes très

diversifiées. Elle constitue alors un cadre idéal pour une recherche sur la variabilité de la biomasse. La biomasse est définie par M. Steen et R. David (2013, p. 8) « comme la masse totale de matière organique d'une plante vivante, exprimée en tonnes anhydres ou en tonnes anhydres par surface unitaire ». Les estimations de biomasse peuvent être restreintes à la portion aérienne de la végétation, aux arbres ou aux différents compartiments de ces derniers. En revanche, l'estimation de la biomasse forestière et des volumes qui lui sont associés, est une préoccupation ancienne de la gestion et de la science forestière. Elle est axée vers une valorisation la plus complète possible de l'arbre. « Dans de nombreuses applications d'inventaire forestier, un grand nombre d'attributs d'intérêt doit être estimé à l'aide d'une table de référence ou d'une équation "modèle" » (M. Steen et R. David, 2013, p. 1). Des variables telles que le volume, la biomasse ou le contenu en carbone sont fréquemment estimées à partir des équations allométriques. La plupart des études sur les stocks de carbone emploient des modèles allométriques basés sur la quantification de la biomasse. L'estimation de la biomasse au-dessus du sol est un aspect essentiel pour les études des stocks de carbone. En tant qu'écosystème, « une forêt séquestre du carbone dans plusieurs compartiments notamment dans le bois mort (nécromasse), les arbres vivants (biomasses aérienne et souterraine), la végétation du sous-bois, la litière et le sol (matière organique) » (M. Kaire *et al.*, 2013, p. 9). Parmi ces compartiments, la biomasse aérienne ligneuse est la plus étudiée car c'est la plus accessible. Elle reste selon Q. Molto, (2012, p. 15) « la variable de référence pour décrire le carbone stocké dans une forêt ». L'évaluation de la biomasse aérienne ligneuse constitue alors une préoccupation importante.

L'objectif de la présente recherche est d'analyser la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse à travers les formations végétales et au sein de chaque formation végétale en fonction des variables prédicteurs (hauteur, diamètre, densité) dans la forêt classée de Wari-Marou.

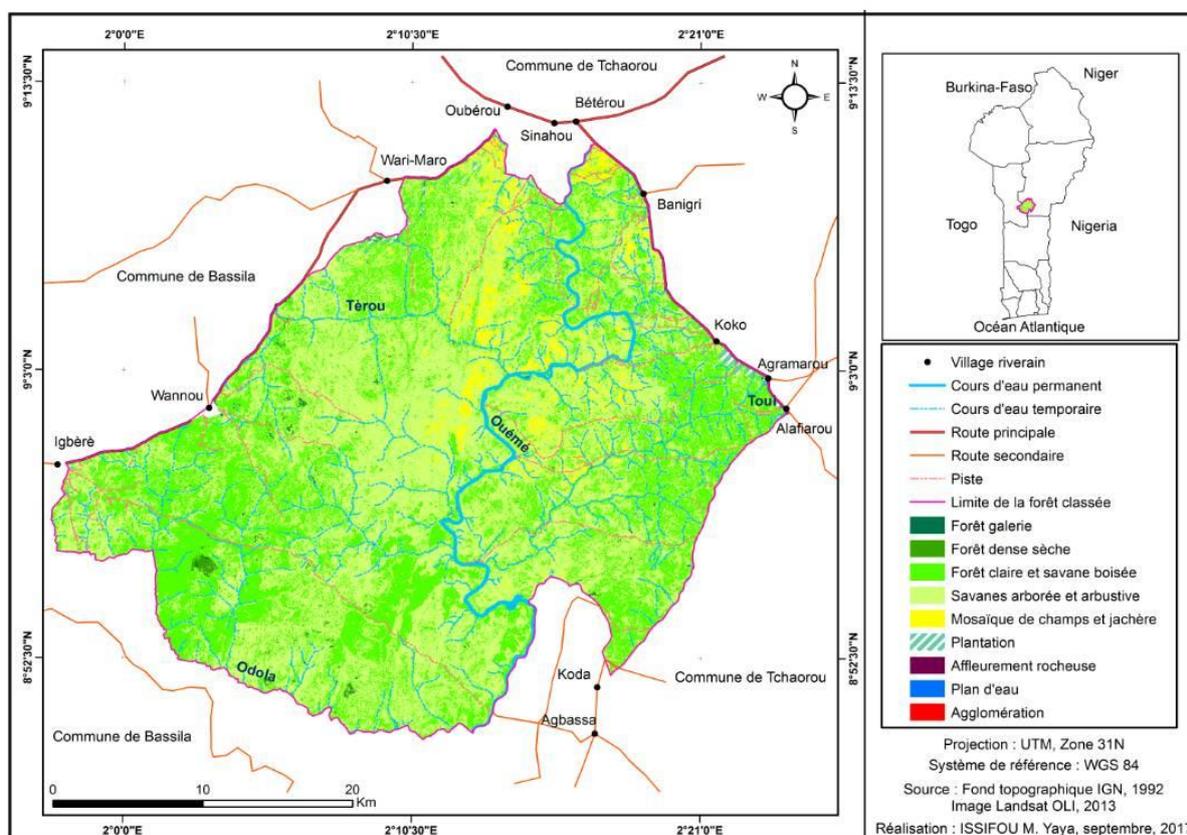
1.1 Milieu d'étude

La forêt classée de Wari-Marou est située entre 8° 50' et 9° 20' de latitude nord et entre 2° 10' et 3° 10' de longitude est (figure 1). « Elle couvre une superficie de 111 095,38 ha » (PAMF, 2007, p. 6).

La forêt classée de Wari-Marou est sous l'influence du climat tropical subhumide de type soudanien où la pluviosité moyenne annuelle est de 1 150 mm et l'évapotranspiration (ETP) moyenne annuelle oscille autour de 1 500 mm. Les conditions pédoclimatiques et anthropiques ont permis l'établissement des formations forestières, des formations savaniques et des formations anthropozoïques. L'agriculture, l'exploitation forestière, la carbonisation, l'élevage, la chasse et la pêche constituent les principales activités économiques pratiquées par

les populations des villages riverains (Y. Issifou Moumouni, 2016, p. 21). Ces activités influencent le couvert végétal du massif forestier.

Figure 1. Situation géographique de la forêt classée de Wari-Marô



2. Démarche méthodologique

2.1. Outils de collecte de données

La collecte des données a nécessité:

- un GPS pour rallier les placettes à partir de leurs coordonnées géographiques;
- un décamètre pour la mesure de la circonférence des arbres de circonférence (C) ≥ 30 cm;
- un clisimètre pour les mesures de la hauteur des arbres ;
- des fiches de relevés pour enregistrer les données.

2.2. Méthode de collecte de données

2.2.1. Echantillonnage

La méthode d'échantillonnage adoptée est l'échantillonnage aléatoire stratifié. «Son intérêt réside dans la réduction du nombre d'unités d'observation pour une précision donnée et par conséquent la réduction du coût et du temps de l'inventaire. Son principe repose sur le choix des échantillons de façon aléatoire dans chaque strate des unités d'observation» (PAMF, 2007,

p. 31). Le critère de stratification est dans ce cas qualitatif car reposant sur les formations végétales selon la classification internationale de Yangambi (1956).

2.2.2. Choix des unités d'échantillonnage

Dans le domaine de l'inventaire de la végétation, différentes formes d'unités d'échantillonnage existent. Il s'agit de placette carrée, de placette rectangulaire et de placette circulaire. La placette circulaire a été adoptée grâce à ses avantages à savoir : pas de direction privilégiée, réduction de cas douteux (arbres de bordure) et implantation facile et rapide. L'unité d'observation est donc une placette circulaire de 15 m de rayon utilisée par M. Kaire *et al.* (2013, p. 16) et PAMF (2007, p. 32). Les inventaires ont été réalisés dans les placettes installées par le projet PAMF en 2003. Au total, 60 d'entre elles ont été ralliées à partir de leurs coordonnées géographiques à l'aide du GPS et 10 autres placettes rectangulaires ont été installées au niveau des galeries forestières au cours de la période allant de novembre à décembre 2014. Le nombre de placettes par formation végétale est présenté dans le tableau 1.

Tableau 1. Nombre de placettes par formation végétale

Formations végétales	Nombre de placeaux
Forêt galerie	10
Forêt dense sèche	11
Forêt claire	12
Savane arborée	23
Savane arbustive	3
Savane boisée	6
Champs et jachères	3
Plantation	2
Total	70

Source : Enquête de terrain, décembre 2014 (*saison sèche*)

2.2.3. Collecte des données dendrométriques

Tous les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) dépasse 10 cm ont été pris en compte dans chacune des placettes. Les noms scientifiques et/ou vernaculaires des arbres, la hauteur totale et la circonférence ($C \geq 30$ cm) ont été les principales données collectées. A cela s'ajoutent le type de formation végétale, le type de sol et la situation topographique.

2.2.4. Méthodes d'estimation de la biomasse aérienne ligneuse

L'estimation de la biomasse est à la base des calculs de stocks de carbone en forêt et donc en lien direct avec les études sur le changement climatique. La biomasse d'une forêt peut être évaluée directement en abattant les arbres et en mesurant leurs masses. « Cette méthode de

mesure a une très grande précision mais elle est destructive. Les vraies mesures de biomasses exigent de peser des arbres après abattage. Ces mesures sont destructives et très contraignantes » (M. Araujo *et al.*, 1999, p. 44; E. Nogueira *et al.*, 2008, p. 77 in E. Nogueira 2008). Les mesures de biomasse ne pouvant pas être destructives à grande échelle, il est donc nécessaire d'utiliser des méthodes non destructives. Ces méthodes non destructives sont indirectes et se basent sur des modèles reliant les caractéristiques de la forêt à sa biomasse appelés modèles allométriques.

Un modèle allométrique permet de convertir des mesures facilement disponibles, en quantités difficilement accessibles directement sur le terrain. Il permet de générer ainsi la biomasse des individus ligneux en se basant sur des mensurations de paramètres dendrométriques sur l'individu. Le terme générique utilisé est l'approche non destructive par opposition à celle dite « destructive » qui a justement permis d'élaborer ces modèles allométriques. Cette approche dite « non destructive » est donc « destructive » malgré elle.

2.2.5. Choix du modèle allométrique

Pour la plupart des études sur la biomasse le choix du modèle a été fait en utilisant une pénalisation sur le nombre de paramètres avec pour variable indépendante notamment :

- 1- le diamètre (DHP) uniquement (S. Brown, 1997, p. 11) ;
- 2- le diamètre (DHP) et la hauteur (S. Brown et L. Iverson, 1992, p. 375);
- 3- le diamètre (DHP), la densité du bois et la hauteur totale (J. Chave *et al.*, 2005, p. 88).

Le modèle de J. Chave *et al.* (2005, p. 88) a été choisi dans la présente recherche. Ces auteurs ont recommandé d'utiliser les modèles de régression incluant les informations sur le diamètre du tronc (en cm), sur la hauteur totale H (en m) et sur la densité sèche du bois (en g.cm⁻³). En effet, selon W. Dorvil (2010, p. 20), « l'utilisation d'une équation allométrique ayant uniquement la variable Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) provoquerait une hausse de la valeur de la biomasse (AGB) ». Cette idée est cohérente avec celle de J. Chave *et al.* (2005, p. 99) affirmant que « la hauteur est considérée comme une variable cruciale et en l'ignorant, cela donnerait lieu à la surestimation de l'AGB ». Concernant le deuxième modèle ayant les variables DHP et H de S Brown et L. Iverson (1992, p. 375), et du troisième (J Chave *et al.*, 2005, p. 88) ayant pour variables DHP, H et ρ (densité spécifique), il constate qu'il y a un grand écart entre leur valeur de l'AGB. Sur ce, T. Baker *et al.* (2004, p 559), ont montré « les variations aboutissant à l'imprécision globale pour le calcul de l'AGB en ignorant la densité du bois ». C'est donc ce qui justifie le choix du modèle pantropicale de J. Chave *et al.* (2005, p. 88), qui inclut les trois paramètres. J. Chave *et al.* (2005, p. 92) suggèrent « l'utilisation en

forêt tropicale de différents types d'équations allométriques selon qu'il s'agisse d'une forêt tropicale humide "Wet forest" ou qu'il s'agisse d'une forêt tropicale sèche "Dry forest" et cela en tenant compte de certaines restrictions (la pluviométrie et la circonférence de l'arbre) ». La forêt classée de Wari-Marô étant située dans la zone de transition soudano-guinéenne où règne un climat tropical avec une pluviométrie inférieure à 1 500 mm/an l'équation choisie est donc celle des forêts tropicales sèches «Dry forest» de Chave *et al.* (2005, p. 92) :

$$AGB = 0,112 \times (\rho D^2 H)^{0,916}$$

Où AGB : la biomasse est exprimée en kg ; D : le diamètre en cm à 1,30 m; H : la hauteur de l'arbre en m et ρ : la densité spécifique du bois en g.cm⁻³.

Cette équation dépend explicitement de la densité spécifique du bois. Les densités spécifiques ont été obtenues grâce aux bases de données suivantes : Global wood density database®, tropix® cirad et la base de données PROTA. La densité est de manière générale mieux connue pour les arbres exploitables par les compagnies forestières. Pour les espèces dont les valeurs de la densité spécifique (ρ) ne sont pas disponibles, il a été choisi une valeur par défaut de la densité (ρ défaut = 0,58 g/cm³ pour les forêts tropicales d'Afrique), comme le recommandent G. Reyes *et al.* (1992, p. 2) et utilisé par B-T. Vroh *et al.* (2015, p. 033).

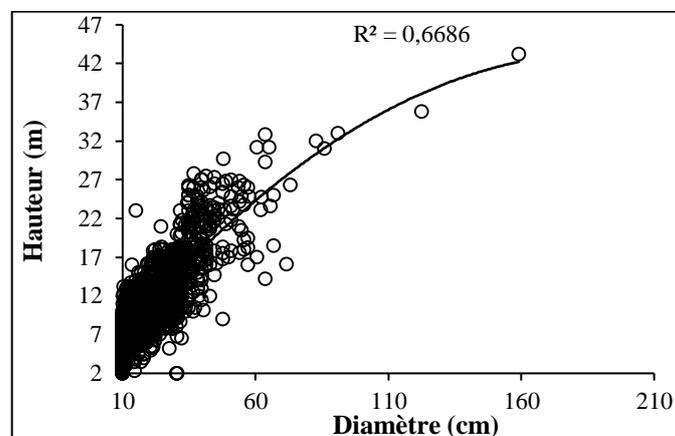
Le logiciel SPSS a été utilisé pour réaliser les différents tests statistiques.

3. Résultats

3.1. Relation hauteur - diamètre

La figure 2 présente la relation hauteur - diamètre réalisé avec les données prises sur 1 872 arbres. Le nuage de points indique une agglutination des valeurs de hauteur qui traduisent une certaine régularité dans sa relation avec le diamètre.

Figure 2. Relation hauteur - diamètre des arbres



Source : données de terrain, décembre 2014 (saison sèche)

De l'examen de la figure 2, il ressort que le modèle de régression polynomiale présente un bon ajustement avec un pouvoir explicatif relativement élevé ($R^2 = 67\%$) et un écart-type résiduel de 0,24. Le test statistique de Student calculé $T_c = 5,893$ au seuil de 0,001 largement inférieur au seuil critique de 5 %. Il existe une relation significative entre le diamètre et la hauteur au seuil de 5 %. Ainsi, 67 % des variations de la hauteur des arbres sont expliquées par celles du diamètre.

3.2. Estimation de la biomasse aérienne ligneuse

L'estimation de la biomasse vivante des arbres présents dans les placettes est faite par type de formation végétale. Cette estimation repose sur 1 872 arbres de DHP supérieur ou égale à 10 cm répartis en 118 espèces dans neuf types de formations végétales. Le tableau 2 présente les variations de la biomasse épigée par formation végétale.

Tableau 2. Variations de l'AGB par formation végétale

Type de végétation	AGB (tMS/ha)	Nombre d'arbres/ha
Ja	34,91	10
Pl	87,36	54
Ch	119,76	36
Sa	161,44	53
SB	443,79	185
FC	1085,94	337
FDS	1447,04	289
SA	1814,60	522
FG	2199,79	386
Total	7 394,63	1 872

Source : données de terrain, décembre 2014 (saison sèche)

Légende: tMS/ha : Tonne de matière sèche par hectare ; Ja : jachère ; Pl : plantation ; Ch : champ ; Sa : savane arbustive ; SB : savane boisée ; FC : forêt claire ; FDS : forêt dense sèche ; SA : savane arborée ; FG : forêt galerie.

L'examen du tableau 2 montre une nette variation de la biomasse et du nombre d'arbres d'une formation végétale à une autre. En effet, il ressort de la lecture du tableau 2 que, les formations anthropiques présentent les plus faibles valeurs de la biomasse aérienne globale et du nombre d'arbres, soit 34,91 tMS/ha et 10 arbres/ha pour les jachères ; 87,36 tMS/ha et 54 arbres/ha pour les plantations et 119,76 tMS/ha avec 36/ha pour les champs. Les plus fortes valeurs de l'AGB et du nombre d'arbres à l'hectare sont observées au niveau des formations forestières avec 2199,79 tMS/ha et 386 arbres/ha pour les forêts galeries; 1 447,04 tMS/ha et 289 arbres/ha pour les forêts denses sèches et 1 085,94 tMS/ha et 337 arbres/ha pour les forêts claires. Ces valeurs élevées peuvent s'expliquer par la grandeur de la circonférence des arbres de cette catégorie de formation végétale. Ces formations forestières sont suivies par les formations savaniques avec en tête les savanes arborées avec 1 814,60 tMS pour 522

arbres/ha. Viennent ensuite les savanes boisées (443,79 tMS pour 185 arbres/ha) et enfin les savanes arbustives avec 161,44 tMS pour 53 arbres/ha. La biomasse aérienne globale de la forêt classée de Wari-Marou est estimée à 7 394,63 tMS /ha.

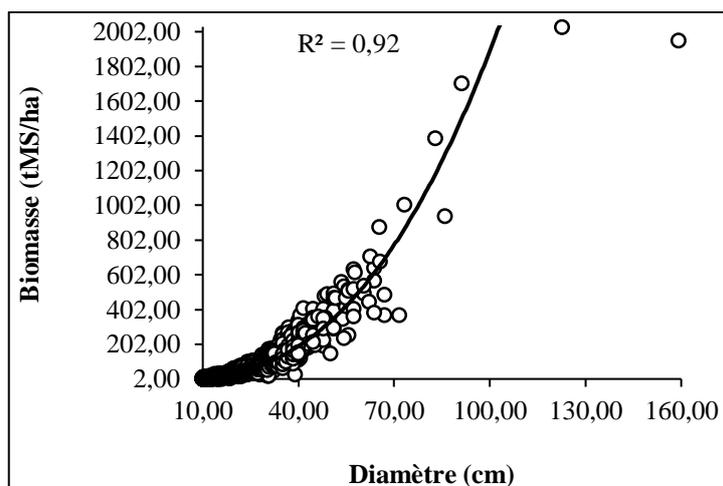
L'observation du tableau 2 indique également que la plus grande quantité de biomasse mesurée ne correspond pas au plus grand nombre d'arbres. Cependant, le coefficient de corrélation $R^2 = 0,66$ proche de 1 indique une bonne corrélation entre l'AGB et le nombre d'arbres. Cette corrélation est même hautement significative selon les résultats du test de Student avec $T_c = 14,910$ au seuil de 0,001 largement inférieur au seuil critique de 5 %. L'erreur standard est de 0,080. En se basant sur la valeur du coefficient de corrélation qui est 0,66 soit 66 % on peut dire que 66 % des variations de la biomasse sont expliquées par les variations du nombre d'arbres correspondant.

Globalement, il est important de noter que les formations forestières contiennent environ 64 % de la biomasse aérienne globale de la forêt classée de Wari-Marou soit 4 732,77 tMS/ha, les formations savaniques assurent 32,72 % soit 2 419,82 tMS/ha et enfin les formations anthropiques apportent seulement 3,27 % soit 242,03 tMS/ha.

3.3. Relation biomasse-diamètre

La régression puissance a permis d'évaluer la relation biomasse-diamètre (AGB-DHP). La figure 3 exprime l'évolution de l'AGB en fonction du DHP.

Figure 3. Relation AGB-DHP de l'arbre



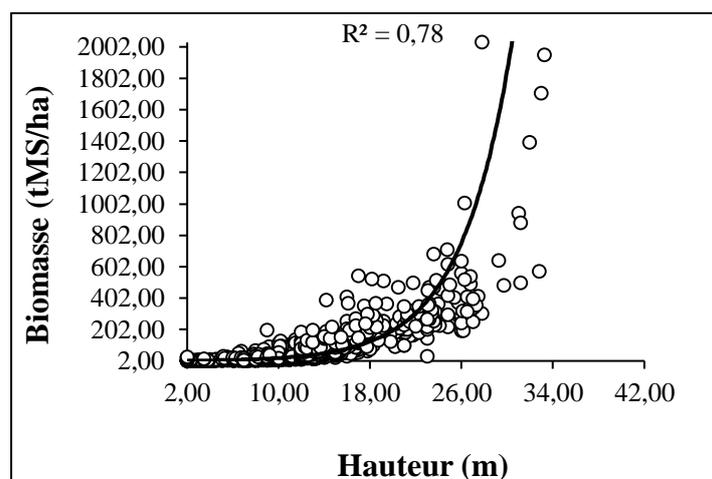
Source : données de terrain, décembre 2014 (saison sèche)

L'examen de la figure 3 indique une bonne prédiction de la biomasse des arbres de DHP < 70 cm. L'agglutination des valeurs de biomasse des individus de DHP < 70 cm observée sur le nuage de points traduit une régularité dans la relation AGB-DHP. On observe également que la variation de l'AGB augmente lentement avec le diamètre correspondant jusqu'à 70 cm avant de croître très rapidement pour les arbres de DHP > 70 cm avec une dispersion des valeurs de biomasse. Cette dispersion du nuage de points pour les arbres de DHP > 70 cm témoigne d'une certaine irrégularité dans la relation entre la biomasse et les gros arbres avec pour corollaire un risque de biais dans la prédiction. Cependant, le coefficient de corrélation R^2 égale à 0,92 indique la forte intensité et le sens de la corrélation AGB-DHP. De plus avec une erreur standard de 0,017, le test de Student calculé est $T_c = 151,33$ au seuil de 0,001. Ce seuil est largement inférieur au seuil critique de 5 % admis, par conséquent, la corrélation est hautement significative au seuil de 5 %. La biomasse évolue donc avec le diamètre de l'arbre. Toute chose étant égale par ailleurs, 92 % des variations de la biomasse sont expliquées par celles du diamètre ($d \leq 70$ cm) de l'arbre dans la forêt classée de Wari-Marô.

3.4. Relation biomasse-hauteur

Pour tester la relation entre la biomasse (AGB) et la hauteur, la régression exponentielle a été adoptée. On observe sur le nuage de points deux phases d'évolution de l'AGB en fonction de la hauteur de l'arbre. La valeur élevée du coefficient de corrélation $R^2 = 0,78$ témoigne de la bonne performance du modèle exponentielle. Le graphe de la figure 4 présente les résultats de la régression.

Figure 4. Relation AGB-hauteur de l'arbre



Source : données de terrain, décembre 2014 (saison sèche)

La figure 4 indique une distribution en "trompette ou à queue de comète" caractéristique de tous les tarifs de biomasse. Plus les arbres sont hauts, moins bien ils sont estimés. On constate qu'entre 2 et 23 m de hauteur les valeurs de biomasse sont très proches et la variation est très lente. Mais au-delà de 23 m, les valeurs de biomasse sont dispersées et la variation devient importante entre espèces. Le coefficient de corrélation proche de 1 ($R^2 = 0,78$) indique donc une bonne corrélation entre la biomasse et la hauteur de l'arbre. Les résultats du test de Student réalisé indiquent une relation hautement significative au seuil de 5 %, avec une erreur standard de 0,003 ; $T_c = 82,605$ au seuil de 0,001 largement inférieur au seuil critique de 5 %. Par conséquent, 78 % des variations de la biomasse sont expliquées par celles de la hauteur des arbres.

3.5. Variation de la biomasse par classe de diamètre et par classe de hauteur

Les variations de la biomasse par classe de diamètre et par classe de hauteur sont illustrées par les figures 5 et 6.

Figure 5. Variation de la biomasse par classe de diamètre

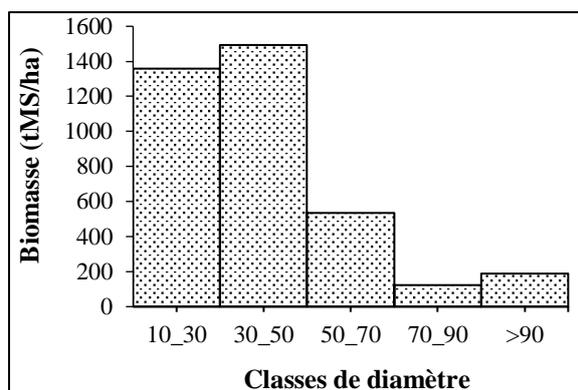
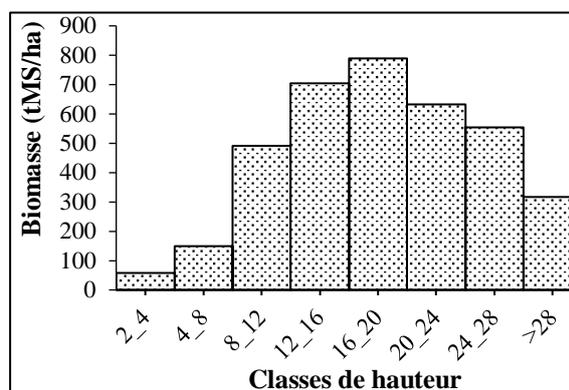


Figure 6. Variation de la biomasse par classe de hauteur



Source : données de terrain, décembre 2014 (saison sèche)

La figure 5 montre que la quantité de biomasse décroît des petites et moyennes classes de diamètre vers les classes supérieures de diamètre avec 2 716,21 tMS/ha pour la classe de diamètre compris entre 10 cm et 30 cm, 2 985 tMS/ha pour la classe de 30 cm à 50 cm, 1067,23 tMS/ha pour la classe de 50 cm à 70 cm. Par contre, la classe de 70 cm à 90 cm de diamètre couvre 247,19 tMS/ha et enfin 378, 99 tMS/ha seulement pour la classe de diamètre supérieur à 90 cm.

La figure 6 indique deux phases d'évolution de la biomasse. Une croissance de la quantité de biomasse des petites classes de hauteur (avec 117,25 tMS/ha pour la classe de 2 m à 4 m) vers les classes moyennes (jusqu'à atteindre son pic au niveau de la classe de 16 m à 20 m avec

1580,03 tMS/ha), suivies d'une décroissance vers les classes supérieures de hauteur (avec 633,57 tMS/ha pour les arbres de hauteur supérieure à 28 m).

Globalement, les figures 5 et 6 viennent confirmer les distributions de la biomasse observées plus haut (figures 3 et 4). Dans la forêt classée de Wari-Marou, les arbres de gros diamètre et de grande taille ne sont pas de très bon prédicteurs de biomasse.

4. Discussion

Les mesures de biomasse ne pouvant pas être destructives à grande échelle, le modèle pantropical de J. Chave *et al.* (2005, p. 92) à l'échelle de l'arbre des forêts tropicales sèches a été adopté pour estimer la biomasse des placettes inventoriées dans la forêt et relier les caractéristiques de la forêt à sa biomasse. Le même modèle a été utilisé par B. T. Vroh *et al.* (2014, p. 332) en Côte d'Ivoire ; W. Dorvil (2010, p. 20) en Guadeloupe, J. Chavec *et al.* (2014, p. 3179) en zone tropicale et Q. Molto (2012, p. 39) en Guyane française. Des résultats obtenus, il ressort que 67 % des variations de la hauteur des arbres sont expliquées par celles du diamètre dans la forêt classée de Wari-Marou. Ces résultats sont similaires à ceux de E. Nogueira *et al.* (2008, p. 73) et M. Sharma et J. Patron (2007, p. 192) qui ont obtenus respectivement 63,6 % et 75,7 %. La hauteur des arbres est un variable indispensable pour une bonne prédiction de la biomasse. Pour prédire la biomasse, la hauteur de chaque arbre doit être prédite par un modèle la reliant au diamètre de cet arbre. Selon Q. Molto (2012, p. 88), la structure diamétrique est un indice de maturité du peuplement et donc un bon prédicteur de l'AGB.

Il ressort des estimations reposant sur 1872 arbres de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) supérieur ou égale à 10 cm répartis en 118 espèces dans neuf types de formations végétales qu'il y a une nette variation de la biomasse d'une formation végétale à une autre. La biomasse aérienne globale de la forêt classée de Wari-Marou est estimée à 7 394,63 tMS/ha. Les formations forestières contiennent environ 64 % de la biomasse aérienne globale soit 4 732,77 tMS/ha. Les formations savaniques assurent 32,72 % soit 2 419,82 tMS/ha et enfin les formations anthropiques apportent seulement 3,27 % soit 242,03 tMS/ha. A. Chabi *et al.* (2016, p. 15), sur la base d'un modèle calibré à partir des conditions stationnelles ont obtenu dans le Nord-Ouest du Bénin, 94,58 Mg/ha pour les terres forestières, 63,26 Mg/ha pour les savanes et 49,34 Mg/ha pour les formations anthropiques. A. Chabi *et al.* (2016, p. 13) précise que, l'équation basée sur le DBH uniquement (S. Brown, 1997, p. 1) induit une variation

d'environ 25,02 % de la biomasse. Par contre, son modèle qui utilise le DBH, la hauteur et la densité spécifique, différencierait de 4,77 % pour les terres forestières alors que pour J. Chave *et al.* (2005, p. 92) cette différence serait de 14,78%. Les écarts de valeurs entre nos résultats et ceux de A. Chabi *et al.* (2016) s'expliquent par les conditions climatiques différentes et les modèles différents utilisés. Cela souligne l'importance d'ajuster les modèles allométriques aux conditions régionales dans les écosystèmes en Afrique de l'Ouest. En Guadeloupe, W. Dorvil (2010, p 31) obtient une valeur moyenne de 350 T/ha de biomasse en optant pour les trois paramètres à savoir la densité spécifique, le DHP et la hauteur. J. Chave *et al.* (2014, p. 3195) ont obtenu 50 Mg/ha de biomasse pour les arbres tropicaux avec un biais de 9,71 %. Par contre, Asner *et al.* (2009, p. 268) obtiennent une valeur de 282,6 Mg/ha.

Par ailleurs, 92 % des variations de la biomasse sont expliquées par celles du diamètre de l'arbre. Cela implique l'existence d'un risque de biais dans la prédiction de la biomasse des gros arbres. Plus gros sont les arbres, moins bien ils sont estimés. En effet, les résultats de cette recherche ont révélé que la variation de l'AGB augmente lentement avec celle du diamètre correspondant jusqu'à 70 cm avant de croître très rapidement pour les arbres de $DHP > 70$ cm avec une dispersion des valeurs de biomasse qui indique un biais dans la prédiction. Les inventaires à grande échelle dans l'Amazonie centrale E. Nogueira *et al.* (2008, p. 113) indiquent que les arbres de $dbh \geq 60$ cm environ renferment 13 à 18 % de la biomasse de tous les arbres de $dbh \geq 10$ cm, tandis que d'autres régions amazoniennes ont un stock de biomasse plus élevé dans les grands arbres. Chave *et al.* (2001; p. 89) ont trouvé 39 % de biomasse dans seulement 12 arbres de $dbh \geq 70$ cm, ce qui représente seulement environ 2,3 % des arbres ≥ 19 cm dbh . La biomasse dans les grands arbres de l'Amazonie centrale se trouverait plutôt dans des arbres de diamètre intermédiaire.

En outre, 78 % des variations de la biomasse sont expliquées par celles de la hauteur des arbres ($h \leq 23$ m). Mais, plus les arbres ont de la hauteur, moins bien ils sont estimés, car dans la forêt classée de Wari-Marou, on constate qu'entre 2 et 23 m de hauteur les valeurs de biomasse sont très proches et la variation est très lente. Mais au-delà de 23 m, les valeurs de biomasse sont dispersées et la variation devient importante entre espèces. Les arbres de hauteurs moyennes améliorent la prévision de la biomasse du bois et de la biomasse totale de l'arbre. C. Goussanou *et al.* (2016, p. 14) sont parvenus aux résultats similaires. Toutefois, Burnham et Anderson (2002, p. 72) « ont précisé qu'aucune procédure statistique ne permet de décider sans ambiguïté quel modèle est le meilleur ».

Conclusion

La valorisation complète de l'arbre passe par l'estimation précise de la biomasse qui a des effets environnementaux positifs globaux indéniables qu'il convient de maximiser. L'utilisation du modèle pantropical de Chave *et al.* (2005) dans l'estimation de la biomasse aérienne ligneuse dans la forêt classée de Wari-Marô a permis de mettre en évidence la variabilité de la biomasse à travers les formations végétales et son rapport avec le diamètre, la hauteur et le nombre d'arbres à l'échelle de la forêt. Les formations forestières couvrent la plus grande quantité de biomasse, suivies des formations savaniques et viennent enfin les formations anthropozoïques. Plus le diamètre et la hauteur des arbres sont grands moins bien est prédite leur biomasse, les jeunes arbres sont donc de très bons estimateurs de la biomasse.

On pourrait avoir une meilleure estimation de la biomasse en opérant des mesures également sur les autres structures forestières (épiphytes, lianes, fougères), la nécromasse, la biomasse foliaire, la biomasse racinaire qui sont par ailleurs non négligeables dans les forêts tropicales sèches.

Références bibliographiques

AGO Expédit Evariste, 2016, *Dynamique des flux de carbone entre l'atmosphère et des écosystèmes ouest-africains: cas des forêts et savanes sous climat soudanien au Bénin*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Fédération Wallonie Bruxelles, Académie Universitaire Wallonie-Europe, Université De Liège Gembloux.

AJONINA, Gordon et AGO Expédit Evariste 2013, *Etablissement du bilan carbone des mangroves des zones humides du Complexe Ouest du Sud-Bénin en vue de la préparation d'un projet MDP*, Rapport de consultation, Eco-Bénin et Ecosystem Alliance.

AROUJO Thaï Maia, HIGUCHI Niro et de CARVALHO Joaô Andrade, 1999, « Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Parà, Brazil », *Forest Ecology and Management*, 117, p. 43-52.

ASNER Gregory, HUGHES Flint, VARGA Timothy, KNAPP David, KENNEDY-BAKER Timothy, PHILLIPS Oliverl, MALHI Yadvinder, ALMEIDA Samuel, ARROYO Luzmila, DI FIORE Anthony, ERWIN Terry, KILLEEN Timothy, SUSAN Laurance, LAURANCE William, LEWIS Simon, LLOYD Jon, MONTEAGUDO Abel, NEILL David,

PATINÖ Sandra, PITMAN Nigel, SILVA Natalino and MARTINEZ Rodolfo Vasquez, 2004, « Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass », *Global Change Biology*, 10, p. 545–562.

BOCKO Yannick Enock, IFO Suspense Averti, LOUMETO Jean Joël, 2017, « Quantification Des Stocks De Carbone De Trois Pools Clés De Carbone En Afrique Centrale : Cas De La Forêt Marécageuse De La Likouala (Nord Congo) », *European Scientific Journal*, 13, 5, p. 438-456.

BROWN Sandra and IVERSON Louis, 1992, « Biomass estimates for tropical forests », *World Resour. Rev*, 4, p. 366-384.

BROWN Sandra, 1997, « *Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer* », FAO Forestry Paper, Rome, Italy.

BURNHAM Kenneth and ANDERSON David, 2002, *Model Selection and Multimodel Inference. A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer Science+Business Media, Inc., New York, New York, États-Unis, 2è éd.

CHABI Adéyèmi, Lautenbach Sven, OREKAN Vincent Oladokoun Agnila and KYEI-BAFFOU Nicholas, 2016, « Allometric models and aboveground biomass stocks of a West African Sudan Savannah watershed in Benin », *Carbon Balance and Management*, 11 (16): p. 1-18.

CHAVE Jérôme, ANDALO Christophe, BROWN Sandra., CAIRNS Michael, CHAMBERS Jeffrey., EAMUS Derek., FÖLSTER Hubert., FROMARD François., HIGUCHI Niro., KIRA Tomoko, LESCURE J.-Pérez, NELSON Bruce Walker, OGAWA H., PUIG Henri, RIERA Bernard, and YAMAKURA Takuo, 2005, « Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests », *Oecologia*, 145, p. 87–99.

CHAVE Jérôme, BERNARD Riéra and DUBOIS Marc, 2001, « Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability ». *Journal of Tropical Ecology*, 17, p. 79-96.

CHAVE Jérôme, REJOU-MECHAIN Maxime, BURQUEZ Alberto, CHIDUMAYO Emmanuel, COLGAN Matthew, DELITTI Wellington, DUQUE Alvaro, EID Tron, FEARNSSIDE Philip, GOODMAN Rosa, HENRY Matieu, MARTINEZ - YRIZAR Angelina,

MUGASHA Wilson, MULLER-LANDAU Hélène, MENCUCCINI Maurizio, NELSON Bruce, NGOMANDA Alfred, NOGUEIRA Euler Melo, ORTIZ-MALAVASSI Edgar, PELISSIER Raphaël, PLOTON Pierre, RYAN Casey, SALDARRIAGA Juan and VIEILLEDENT Ghislain, 2014, « Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees ». *Global Change Biology*, 20, p. 3177–3190.

DORVIL Weldenson, 2010, *Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales Humides de Guadeloupe*. Master en sciences et technologies de l'Université des Antilles et de la Guyane, France.

DUROT Claire, 2013, *Evaluation et comparaison des stocks de carbone des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre Cameroun : Cas de l'arrondissement de Bokito*. Mémoire de fin d'étude. CIRAD-ISA.

GENDEHOU Sabin, MÄKIPÄÄ Raisa, 2014, « Approach to data collection for soil carbon modelling in Benin ». *Working papers of the finish forest research institute* 290, p. 1-10.

GOFC-GOLD, 2016, *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. GOFC-GOLD Report version COP22-1, (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands).

GOUSSANOU Cédric, GUENDEHOU Sabin, ASSOGBADJO Achille, KAIRE Maguette, SINSIN Brice and CUNI-SANCHEZ Aida, 2016, « Specific and generic stem biomass and volume models of tree species in a West African tropical semi-deciduous forest ». *Silva Fennica*, 50, n°. 2, <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1474>.

ISSIFOU MOUMOUNI Yaya, 2016, *Dynamique du couvert forestier et évaluation des stocks de carbone dans la Forêt Classée de Wari-Marou au Bénin*. Mémoire de DEA en Géosciences de l'Environnement et Gestion de l'Espace, EDP/FLASH/UAC Bénin.

KAIRE Maguette, OUEDRAOGO Jean Sibiri, SARR Benoit, BELEM Mahamadou, 2013, *Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans le système sol-végétation des formations forestières et agroforestières en Afrique de l'ouest*. Alliance Mondiale contre le Changement Climatique (AMCC / GCCA).

MBOW Cheikh, 2009, *Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano- guinéennes du Sénégal*. Thèse de doctorat d'état es-sciences de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Sénégal.

MOLTO Quentin, 2012, *Estimation de biomasse en forêt tropicale humide : Propagation des incertitudes dans la modélisation de la distribution spatiale de la biomasse en Guyane française*. Université des Antilles et de la Guyane. Thèse de Doctorat en physiologie et biologie des organismes, populations, interactions de la Faculté des sciences exactes de l'Université des Antilles et de la Guyane, France.

MULINDABIGWI Valens, 2005, *Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin*. Thèse de l'Institut für Gartenbauwissenschaft der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

NOGUEIRA Euler Melo, NELSON Bruce Walker, FEARNSIDE Philip Martin, FRANCA Mabiane Batista and ALVES de OLIVEIRA Atila Cristina., 2008, « Tree height in Brazil's "arc of deforestation". Shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass ». *Forest Ecology and Management*, 255, p. 2963-2972.

PAMF, 2007, *Plan d'Aménagement participatif du complexe des forêts classées de Wari-Marô et des Monts Kouffés*. Volume A, Partie descriptive. DGFRN/MEPN, Cotonou, Bénin.

REYES Gisel, BROWN Sandra, CHAPMAN Jonathan, and LUGO Ariel, 1992, « Wood densities of tropical tree species ». SO-88 New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. *Gen. Tech. Rep.*

SAÏDOU Aliou, DOSSA A.F.E., GNANGLE P.C., BALOGOUN I., AHO N., 2012, « Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin ». *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, p. 1-9.

SHARMA Mahadev and PATRON John, 2007, « Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach ». *Forest Ecology and Management*. 249, p. 187-198.

STEEN Magnussen et REED David 2008, *Modélisation pour l'estimation et la supervision*. SLU. Répertoire des connaissances sur évaluation des ressources forestières nationales. FAO.

VROH Bi Tra Aimé, TIEBRE Marie Solange, et N’GUESSAN Kouakou Edouard, 2014, « Diversité végétale urbaine et estimation du stock de carbone : cas de la commune du Plateau Abidjan, Côte d’Ivoire ». *Afrique SCIENCE*, 10 (3), p. 329- 340.

VROH Bi Tra Aimé, ADOU YAO Constant Yves, KOUAME Djaha, KPANGUI Kouassi Bruno, GONE BI Zoro Bertin et N’GUESSAN Kouakou Edouard, 2015, « Trees species diversity and above ground biomass in three tropical forest types in Azaguié area, Côte d’Ivoire ». Full Length Research Paper, *Global Advanced Research Journal of Plant Science (GARJPS)*, 1(2), p. 030-038.