RSTE
Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement Volume 3
Édition spéciale, Université d'été 2ème édition Mahajanga, novembre 2020

MÉTHODOLOGIE POUR EVALUER LE STOCK DE CARBONE DE LA FORÊT SÈCHE, CAS DU PARC NATIONAL ANKARAFANTSIKA

RAVELONDRAMAMY Fridonatien Peguy [1,2], RANDRIANJAFY RASOLOARISOA Vololomboahangy[3], RANARIJAONA Hery Lisy[3] RANDRIAMINAHY Mbolamanana Ziva[2,4]

1 : Institut Universitaire de Gestion et Management, Université de Mahajanga, Madagascar
rfpeguy@gmail.com Info line : 032 43 962 58
2 : École Doctorale sur les Ecosystèmes Naturels, Université de Mahajanga-Madagascar.
3 : Faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, Université de Mahajanga-Madagascar.
4 : Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza, Antananarivo-Madagascar

Résumé

La comptabilité des émissions de carbone dans l'atmosphère est au cœur des négociations internationales depuis quelques années. La grande quantité de concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère produit des effets négatifs sérieux qui perturbent l'environnement mondial. Il est à noter que la disparition des forêts de toute formes contribue à environ 10-15 % des émissions mondiales annuelles de gaz à effet de serre (Van der Werf et al., 2009). Des études ont été réalisées sur la forêt sèche, au sein du Parc National Ankarafantsika, qui se trouve au Nord-Ouest de Madagascar pendant une période de 10 ans (2010-2019). Comment alors évaluer les stocks de carbone dans cette forêt ? L'objectif général est de connaitre les méthodes utilisées pour évaluer les stocks de Carbone. Pour bien mener cette recherche on a été déployé des différentes enquêtes auprès de promoteur du projet carbone notamment le WVC, L'ONE, La REDD+…etc puis nous avons consulté les documents dans des nombreuses centres des recherches et aussi sur l'internet. Alors, pour déterminer le stock de carbone, il faut respecter des plusieurs processus méthodique en commençant par l'étude géographique en interprétant les images satellites obtenus durant ces dix ans sur le champ d'étude. Suivi d'un inventaire forestier qui va entamer par la détermination des placettes, puis du prélèvement des échantillons en mesurant et en comptant les arbres se trouvant dans les sous-placettes suivant leur Diamètre à la Hauteur de Poitrine et la taille des sous-placettes, dont on y trouve en moyenne 400 arbres durant les inventaires avec les nombres des arbres qui ont les DHP entre 2.5cm et 10cm sont très nombreux. Toutes les placettes ont été dominées par *Capurodendron terminalioides* (Natonjia) et *Micronychia madagascariensis* (Hazomafana), avec les sols sableux et couleur Blanc. Puis, prélèvement des échantillons de sol et de la litière au sein des placettes. En fin, le traitement des échantillons débuter par l'identification des équations allométriques convenables pour l'écosystème d'Ankarafantsika ainsi la détermination de densité de chaque arbre et pour finir, la détermination des poids de carbone. Des discussions sont ouvertes sur l'exactitude des résultats dans la mesure où notre champ d'étude est très vaste, cela va donner des chiffres imprécis. De plus, l'équation allométrique utilisée n'est pas authentique vu qu'il n'existe pas de l'équation allométrique pour la forêt sèche de Madagascar. Sur ceux, il faudrait utiliser la méthode de stratification et de l'équation allométrique spécialiser pour la forêt sèche de Madagascar afin que le taux de carbone comptabilisé soit proche du taux exact.

ISSN: 2709-8192-1. https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192

Mots clés : Parc National Ankarafantsika, Comptabilité, Image satellite, Dioxyde de carbone, Placettes, équation allométrique.

Accounting for carbon emissions into the atmosphere has been at the heart of international negotiations in recent years. The large amount of carbon dioxide concentration in the atmosphere produces serious negative effects that disrupt the global environment. It should be noted that the loss of forests in all forms contributes to about 10-15% of annual global greenhouse gas emissions (Van der Werf et al., 2009). Studies have been carried out on the dry forest, within the Ankarafantsika National Park, which is located in the North-West of Madagascar for a period of 10 years (2010-2019).

How then can we assess the carbon stocks in this forest? The general objective is to know the methods used to evaluate carbon stocks. In order to carry out this research, various surveys were carried out with carbon project promoters such as WVC, ONE, REDD+, etc. We then consulted the documents in numerous research centres and also on the Internet. So, to determine the carbon stock, several methodical processes must be followed, starting with the geographical study by interpreting the satellite images obtained during these ten years on the field of study. This will be followed by a forest inventory which will start by determining the plots, then taking samples by measuring and counting the trees in the sub-plot according to their Diameter to Chest Height and the size of the sub-plot, of which there are on average 400 trees during the inventories with the numbers of trees that have DHP between 2.5cm and 10cm are very numerous. All plots were dominated by *Capurodendron terminalioides* (Natonjia) and *Micronychia madagascariensis* (Hazomafana), with sandy soils and white colour. Then, soil and litter samples are taken from the plots. Finally, the processing of the samples begins with the identification of the allometric equations suitable for the Ankarafantsika ecosystem, as well as the determination of the density of each tree and finally, the determination of the carbon weights. Discussions are open on the accuracy of the results as our field of study is very broad, this will give imprecise figures. Moreover the allometric equation used is not authentic but it it is no allometric equation for Madagascar dry forest. Of those, the stratification method and the special allometric equation should be used for the dry forest of Madagascar so that the rate of carbon accounted for is close to the exact rate.

Keywords: Ankarafantsika National Park, Accounting, Satellite image, Carbon dioxide, Plots, allometric equation.

Introduction

La perte du couvert forestier résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts contribue à environ 10-15 % des émissions mondiales annuelles de gaz à effet de serre. Pour éviter le pire, la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques a examiné la possibilité de réduire ces émissions à travers des crédits de carbone. Dans les écosystèmes forestiers, le carbone est stocké dans la biomasse vivante (biomasse aérienne et biomasse souterraine), le bois mort, la matière organique du sol et la litière (Eggleston et al., 2006).

Madagascar dispose d'une large couverture forestière repartie en quatre écorégion. Cependant, à l'heure actuelle, le pays ne dispose pas de données suffisantes sur l'état de stock de bois pour estimer la biomasse et la capacité de séquestration

de carbone. Toutefois, l'approche méthodologique adoptée lors de ces inventaires n'est pas uniforme selon objectifs de plusieurs Organisation Non Gouvernementale ainsi l'écorégion. Comment évaluer les stocks de carbone dans la forêt sèche ?

L'objectif global est de connaitre les méthodes d'évaluation des stocks de carbone. Comment procéder l'inventaire de la forêt, comment traiter les données collectées ?

Méthodologie

Cette partie consacrera sur le site d'étude, les outils et les matériels ainsi que les méthodes lors de conception de ce présent article.

Site d'etudes

Le Parc National Ankarafantsika est Situé au Nord-Ouest de Madagascar dans la Région Boeny à 114 km de la ville de Mahajanga, partagé par District Ambato Boeny et Marovoay (Ramananandro, 2014). La superficie est de 130 026 ha, ce qui lui fait l'une des plus grandes aires protégées de Madagascar. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre entre 16°00' et 16°20' de latitude Sud, 46° 34' et 47° 17' de longitude Est (Randrianjafy, 2003). L'altitude varie entre 30 et 380 m.

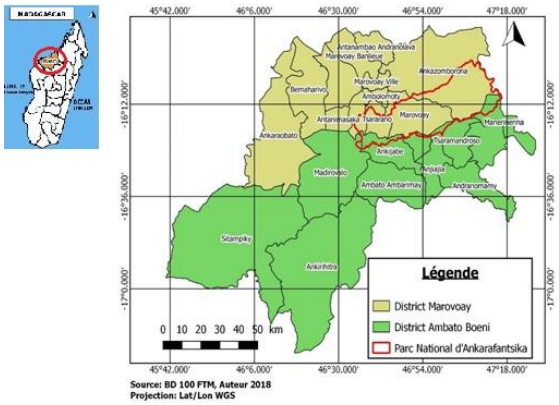

Figure 1 : Emplacement de District de Marovoay et d'Ambato-Boeny et du Parc National d'Ankarafantsika

La forêt du parc, est une forêt dense du type caducifolié reposant sur un sol sableux. Celle-ci est dominée par des légumineuses, Euphorbiacées, Moracées et Apocynacées (Randevoson, 2012). En termes de conservation, environ 823 espèces y ont été inventoriées, 82% de plantes herbacées et 92% de plantes ligneuses sont endémiques (Ahamada, 2011). Pour la température, pendant la saison humide, la température mensuelle moyenne peut atteindre jusqu'à 30.0ºC alors qu'elle est de 27.1°C pendant la saison sèche. Ainsi, la précipitation mensuelle moyenne de la région du Parc National Ankarafantsika varie de 08.2 mm à 668.7 mm durant les périodes humides. La saison sèche est marquée par une absence totale de pluie.

Matériels et Méthodes

Outils et matériels utilisés sur terrain

Des matériels ont été utilisés pour cette recherche notamment les matériels physiques regroupant l'ordinateur, bloc-note, Flag, Appareil photo, Hypsomètre, GPS., Boussole, Décamètre, Vertex, Ruban dendrometrique et OSM, Relascope de Bitterlich, les documents, cartes d'accès au parc, Liste préalable des espèces (flore), Fiche de collecte des données d'inventaire forestier et floristique, Tableau de correction des pentes avec les points à considérer pour la corde n° 1 et pour la corde n° 2, l'ensemble des logiciels de traitements et d'analyses des données, tels les logiciels de transformations d'images (Photoshop, Paint, …), le logiciel de télédétection (ENVI), le logiciel SIG (Arc GIS).

Au moins 3 hommes et un guide du parc sont nécessaires pour accomplir le travail.

ISSN: 2709-8192-1. https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192

Source : **Auteur, 2018**

Documentations et Enquêtes

Elle se focalise sur les travaux de documentations auprès des différentes entités à l'aide des recueils bibliographiques et webographies. Pour ce faire, divers centres de documentation ont été fréquentés (Bibliothèque universitaire, bibliothèque virtuelle, CIRAD…), appuyés par nombreux sources sur les site-web. Suivi par séance d'enquêtes auprès des parties prenantes notamment Wildlife Conservation Society (WCS), Office Nationale pour l'Environnement (ONE), Conservation International (CI), Bureau National de Coordination Réduction des Emissions dues à la Déforestation et la Dégradation des Forêts (BNC-REDD+, Direction Générale des forêts (DGF).

Études cartographies

Les données cartographiques constituent l'ensemble des informations spatialisées comme les cartes topographiques, les données thématiques et les images satellites. Elles conçoivent l'analyse de l'évolution du couvert forestier basant sur les directives méthodologiques REDD+ Madagascar visant à définir les méthodes les plus appropriées au regard des cadres méthodologiques du Fond Carbone du FCPF et du VCS. Cette méthode s'est également inspirée d'une étude antérieure effectuée par Grinand et al. (2013) dans le cadre du Programme Holistique de Conservation des Forêts (PHCF).

Plan d'implantation des placettes

Les étapes à suivre pour avoir les placettes d'inventaire sont montrées ci-dessous :

- Extraction de la limite MNP Ankarafantsika dans la couche Aires de protection, sélection dans la table attributaire de l'Aire de protection et enregistrement de la sélection dans une nouvelle couche.

- Superposition et extraction des points de la grille nationale avec la couche MNP Ankarafantsika, sélection par localisation des points à l'intérieur de la couche MNP_Ankts.shp.

Une fois les placettes établies, les coordonnées du centre de chacune d'entre elles sont enregistrées et saisies dans un GPS pour faciliter l'acces facile.

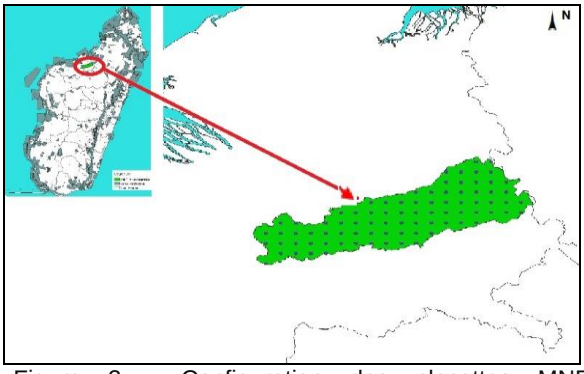

Figure 2 : Configuration des placettes MNP Ankarafantsika (*Source : Auteur)*

Toutes les placettes ont une forme carrée étant donné que c'est la forme la plus adaptée en forêt naturelle (BNC-REDD+, 2018), avec une dimension de 50m x 50m.

Pour mettre en place une placette, le centre de la placette a été cherché à l'aide du GPS «GO TO» puis on doit déterminer la pente du terrain à l'aide du Relascop et en cas d'une pente > 15%, le tableau correction des pentes est utilisé et puis calibrer les cordes avant de mettre en place les 2 cordes sur les diagonales de placette (figure 3).

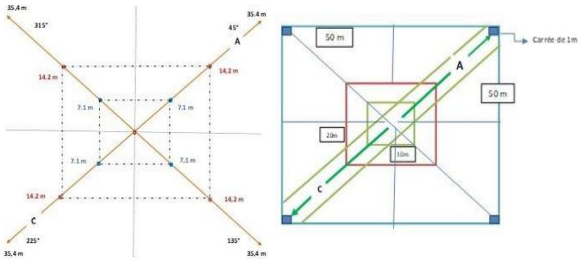

Figure 3 : Schéma d'une placette de 50m x 50m

ISSN: 2709-8192-1. https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192

Chaque placette est divisée en quatre sous-placettes. Sur ce, ci-après (Tabl. 1) les éléments et les types d'arbres caractéristiques.

Tableau 1 : Types des arbres inventoriés au sein des sous-placettes

Taille	Type	Forêts sèches	Paramètres à mesurer
50m x 50m	Gros arbres	DHP ≥ 20cm	DHP, HT, HF
20m x 20m	Arbres moyens	10cm≤DHP<20cm	DHP, HT
10m x 10m	Jeunes arbres	2,5cm≤DHP<10cm	DHP, HT
1m x 1m	Régénération	DHP < 2,5cm	Dénombrement

Inventaire forestier

Il s'agit la méthode d'échantillonnage au sein des placettes d'inventaire forestier et écologique. La mise en place a été faite à l'aide d'utilisation des images satellites, de radar. Il faut bien souligner que Madagascar a divisé par grilles de 4km x 4km (MEEF, 2018), c'est les points de repères pour installer les placettes. Les manipulations réalisées dans cette procédure ont été faites sous le Logiciel SIG QGIS 3.0.

Les informations suivantes sont à noter pour chaque placette échantillon de forme carrée:

- Nom unique identifiant la placette et la sous-placette concernée, et la date d'inventaire ;
- Coordonnées GPS et précision (± X m) ;
- Itinéraire jusqu'à la placette ;
- Catégorie de site : forêt, nains ou broussailles (hauteur < 5 m) ;
- État écologique et occupation du sol : intact (pour la plupart, des arbres vivants, des troncs et des tiges non endommagés, une canopée intacte/fermée à 80-100%), dégradé ou déboisé ;
- Topographie : le sol est-il plat, en pente, en dépression ou en élévation ?
- Description des sédiments : organiques ou minéraux.

Pour les arbres, les mesures et le comptage des arbres dans les sous-placettes suivant leur DHP et la taille des sous-placettes ont été effectués.

Pour le cas de la régénération naturelle (ou jeunes pousses et plantules) se trouve en 4 angles de placette et le dénombrement a été réalisé seulement pour DHP<2,5 cm. La mesure de DHP se fait environ à 1,30m au dessus du sol. Pour la hauteur, la combinaison de la hauteur totale et la hauteur du fut est indispensable. Il faut tenir compte aussi les positions et les formes des arbres par rapport au plan et l'état des arbres s'ils sont vivants ou morts.

Pour le bois tombé**, l'**approche la plus couramment utilisée pour mesurer le bois tombé est la méthode non destructive d'interception linéaire. Elle consiste à compter et à mesurer la largeur de différentes classes de taille de troncs, de branches, de racines-échasses et de tiges morts et détachés. Il est à noter que le bois n'est tombé que lorsqu'il s'est détaché de l'arbre.

Ces mesures sont ensuite utilisées pour calculer la biomasse aérienne à l'aide de relations allométriques et cette biomasse est par la suite convertie en stock de carbone aérien.

Prélèvements d'échantillons de sol

La méthode de prélèvement des échantillons de sol est dans un carré de 10m x 10m. Ces prélèvements ont été alors effectués à l'aide d'une tarière dans chaque placette où tous les horizons de 0 à 100 cm ont été considérés (Arrouays et al., 2003). Cette pratique a été faite à tous les 20 cm de profondeur, ce qui a donné 5 horizons : 0-20cm ; 20-40cm ; 40-60cm ; 60-80cm ; 80-100cm. Les échantillons ont fait l'objet d'analyse au laboratoire.

ISSN: 2709-8192-1. https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192

Prélèvements d'échantillons de litière

Le prélèvement de la litière a été effectué à partir d'un cadre métallique de forme carrée de 0,50m de côté (Brown, 2005; Rakotonarivo, 2009). Le cadre a été placé au hasard dans la placette. Tous les débris à l'intérieur du cadre ont été collectés. Deux horizons ont été considérés :

- le premier est la litière de l'année (l'horizon Ol) et celle couche de fermentation fragmentée (l'horizon Of). Ce sont les parties encore identifiables (feuilles mortes, brindilles, herbes mortes, et petites branches) ;
- le second est la couche d'humification (l'horizon Oh) composée de matière organique en fragments décomposés non identifiables (Brown, 2005).

Les échantillons obtenus ont été pesés sur place pour en déduire le poids frais.

Traitements des échantillons

L'équation allométrique de Vieilledent (2012) a été utilisée pour le calcul de biomasse aérienne. Ainsi le carbone du sol traiter au LRI et la biomasse souterraine a été estimée en utilisant un quotient racinaire/foliacé (rootshoot ratio, RSR). Le RSR a été sélectionné dans la publication de Mokany et al. (2006).

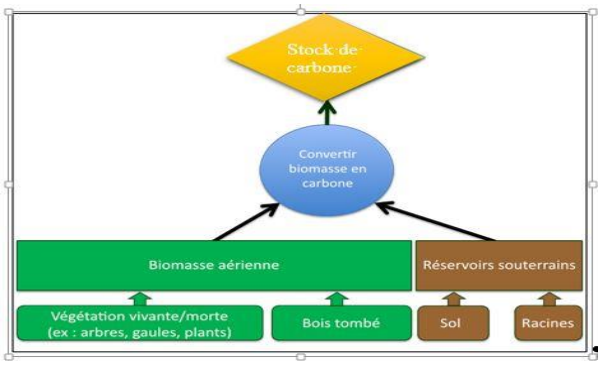

Figure 5. Différentes composantes de la biomasse aérienne et souterraine.

Résultats

Il est signalé que les résultats présentés ici ne sont que préliminaires vu le nombre de placettes à étudier.

Résultats d'inventaire

Dans cette étude, 83 placettes sont à inventorier à l'intérieur du Parc Ankarafantsika. Mais durant les descentes sur terrain à plusieurs reprises, 6 placettes ont pu être réalisées et considérées comme résultats préliminaires.

La moyenne par placette est de 400 arbres dont ceux qui ont un :

- DHP ≥ à 20 cm varient entre de 8 et 15 ,
- 10cm ≤DHP ≤ 20cm sont de 150 à 180 ;
- 2.5cm ≤ DHP ≤ 10cm dépasse 200 ;
- les régénérations ou jeunes pousses entre 35 à 50 arbres.

Toutes les placettes ont été dominées par *Capurodendron terminalioides* (Natonjia), *Micronychia madagascariensis* (Hazomafana), *Garcinia pachyphylla* (Vavongo), *Baudouinia* sp. (Manjakabenitany), *Dalbergia trichocarpa* (Manary), *Securinega perrieri* (Hazomena), *Xyloolaena richardii* (Sofiankomba), …

Pour le sol, il est mentionné que les sols ont été dominés par la texture sableuse avec couleur blanche et gris blanchâtre.

Discussion

Le manque de méthode précise pour comptabiliser le carbone au sein de champs d'étude c'est-à-dire réduire l'inexactitude de résultat par l'application de méthode de la stratification a posé d'énorme souci.

Il existe également de confusion sur le choix de l'équation allométrique utilisée que ce soit l'équation de Vieilledent (2012) ou de Chave (2005) ou de ou

ISSN: 2709-8192-1. https://portal.issn.org/resource/ISSN/2709-8192

Zanne et al. (2009). Cela est dû au manque équation allométrique spécifique pour la forêt sèche à Madagascar.

Dans le souci d'affiner la recherche et de corriger les points faibles de la méthodologie, les recommandations suivantes sont avancées :

Pour que le calcul du taux de carbone soit plus proche de l'exactitude, il est nécessaire d'utiliser la méthode de stratification pour déterminer les placettes. En fait, la stratification est une autre manière pour réduire l'incertitude, mais il faut que les critères de stratification soient corrélés aux variables d'intérêt. Dans ce cas, une carte de changement de couvert forestier pourrait être la stratification optimale.

Pour l'estimation de la biomasse, une équation allométrique propre pour la forêt d'Ankarafantsika est souhaitée. Même si l'équation a été tirée par l'équation de forêt humide de Nord-Est de Madagascar, les différences au niveau d'altitude, de climat ou d'autres facteurs pourraient avoir des influences sur la quantité de biomasse. De plus, pour améliorer la recherche, chaque composante aérienne doit avoir son équation de régression allométrique respective (feuilles, branches, troncs).

Conclusion

Le Parc National Ankarafantsika est caractérisé par une forêt dense sèche. Des études ont été menées pour déterminer les méthodes de calcul de carbone séquestrer dans ce lieu.

Des résultats sont obtenus sous forme de processus de méthode en commençant par l'Étude cartographie en basant sur l'ensemble des informations spatialisées comme les cartes topographiques, les données thématiques et les images satellites ; puis la méthode d'inventaire forestier qui se focalise sur la mise en place des placettes (83 placettes pour notre étude) et la collecte des échantillons dendrométriques à l'intérieur de ces placettes ; suivi de choix des équations allométriques et le traitement des données collectées.

Bibliographie

Ahamada, L.M.L. (2011). Etudes comparative des comportements alimentaires d'*Eulemur mongoz* (Linnaeus, 1766) de Madagascar et des Comores. Mémoire de D.E.A en Sciences de la terre et de l'évolution. Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique. Faculté des Sciences. Université d'Antananativo, Madagascar.

Arrouays, D., Feller, Jolivet, Saby, Andreux, Bernoux, Cerri. (2003). Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. *Étude et Gestion des Sols*, **Vol.10***(4)*: pp. 347-355.

Brown, S., (2005). *Exploration du potentiel de séquestration du carbone dans les forêts classées de la République de Guinée (Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses)*. Winrock international. 39 pages.

Bureau National de Coordination REDD+ (2018). Niveaux d'émissions de référence des forêts de Madagascar pour la réduction des émissions dues à la déforestation, Janvier 2018.

Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Burquez, E. Chidumayo, M.S. Colgan, W.B.B. Delitti, A. Duque, T. Eid, P.M. Fearnside, R.C. Goodman, M. Henry, A. Martinez - Yrizar, W.A. Mugasha, H.C. Muller -Landau, M. Mencuccini, B.W. Nelson, A. Ngomanda, E.M. Nogueira, E.Ortiz-Malavassi, R. Pélissier, P. Ploton, C.M. Ryan, J.G. Saldarriaga and G. Vieilledent, (2014). Improved allometric models to estimate the above ground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/gcb.12629.

Eggleston, H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds) (2006). Lignes Directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. IGES, Japon.

Grinand, C., Rajaonarivo, M. Bernoux, Pajot, Brossard, Razafimbelo, A. Albrecht, Le Martret. (2009). Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar. *Étude et Gestion des Sols* **Vol.16***(1)*: 23-33.

MEEF – Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des Forêts, (2018). Madagascar. Stratégie Nationale REDD+. 63 pages.

Mokany, K.; R.J. Raison, A.S. Prokushkin, (2006) Critical analysis of root :shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology,* **12**, 84–96, d oi: 10.1111/ j.1365-2486.2005.001043.

Rakotonarivo, O.S., (2009). Etude de l'effet du modelé et de la position topographique sur les stocks de carbone de la biomasse végétale et du sol des taillis d'Eucalyptus robusta des hautes terres centrales Malgaches. Cas de Sambaina-Manjakandriana. ESSA, Département des eaux et forêts, Université d'Antananarivo. Mémoire de fin d'études. 70 pages.

Randevoson, M.F.F. 2012. Exploration de la voie oxalate-carbonate de calcium pour la séquestration de carbone dans le sol de Madagascar. Mémoire de D.E.A en Sciences agronomiques. Université d'Antananarivo, Madagascar.

Randrianjafy, R.V.N.R., (2003). Contribution à l'étude de la biologie de conservation de la communauté micromammalienne d'Ankarafantsika. Thèse de Doct. 3ème cycle, Univ. d'Antananarivo, Madagascar.

Vieilledent, G., R. Vaudry, S.F.D. Andriamanohisoa, O. S. Rakotonarivo, H. Z. Randrianasolo, H.N. Razafindrabe, C. Bidaud Rakotoarivony, J. Ebeling, and M. Rasamoelina (2012) A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications*, **22**: 572– 583. Ecological Archives A022-035.

Zanne A.E., G. Lopez-Gonzalez, D.A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S.L. Lewis, R.B. Miller, N.G. Swenson, M.C. Wiemann, J Chave (2009). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository. http://dx.doi.org/10.5061/dryad.234.