

Etc Terra



Projet Mahavotra

Pré-évaluation de la
séquestration de carbone dans
la biomasse des espèces
plantées

TABLE DES MATIERES

I.	Contexte général.....	1
II.	Approche méthodologique	1
II.1.	Choix des espèces étudiées	2
II.2.	Inventaire des données et équations disponible	2
II.3.	Mesure de biomasse sur le terrain : inventaire dendrométrique et chronosequence.....	3
II.4.	Traitement et analyse des données	3
III.	Résultats de l'étude.....	4
III.1.	Densités de bois	4
III.2.	Equations allométriques disponibles.....	5
III.4.1.	Equations génériques standards	5
III.4.2.	Equations spécifiques.....	5
III.3.	Ratios biomasse souterraine/biomasse aérienne	6
III.4.	Evaluation de la séquestration de carbone à 20 ans	7
III.4.1.	Campagnes de mesure sur le terrain	7
III.4.2.	Principaux résultats sur les 12 espèces	8
III.4.3.	Extrapolation des résultats à l'échelle du projet	16
III.4.1.	Equations allométrique générique VS équation allométrique spécifique.....	19
IV.	Conclusion	19
	Références.....	20
	Annexes.....	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Espèces les plus demandées par les paysans dans le projet.....	2
Tableau 2. Densité du bois des espèces plantées	4
Tableau 2. Equations allométriques disponibles pour les espèces plantées	5
Tableau 4. Ratio racine/pousse selon la zone écologique mondiale (Domaine Tropical et Subtropical). Le ratio utilisée est surligné en vert.....	6
Tableau 5. Répartition de toutes les plantations mesurées selon les classes d'âges.	8
Tableau 6. Exemples des données disponibles sur l'accroissement annuel en volume commercialisable à l'échelle nationale et locale	11
Tableau 6. Accroissement annuel en biomasse aérienne : comparaison des données biblio avec les données terrain sur 3 espèces.....	11
Tableau 8. Biomasse/carbone : Valeurs moyennes à considérer pour les espèces à densité faible	12
Tableau 9. Biomasse/carbone : Valeurs moyennes à considérer pour les espèces à densité moyenne	13
Tableau 10. Biomasse/carbone : Valeurs moyennes à considérer pour les espèces à densité élevée	14
Tableau 11. Nombre de plants fruitiers et agroforestiers plantés durant les deux premières années du projet Mahavotra	16
Tableau 12. Nombre de plants forestiers plantés durant les deux premières années du projet Mahavotra.....	16
Tableau 13. Séquestration de carbone dans 20 ans dans la biomasse des espèces fruitière et agroforestières.....	17
Tableau 14. Séquestration de carbone souterrain dans 20 ans dans la biomasse des espèces forestières.	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Accroissement annuel en biomasse selon les trois classes d'âges.....	9
Figure 2. Biomasse totale (aérienne et souterraine) selon les trois classes d'âges.....	9
Figure 3. Accroissements annuels en biomasse totale des espèces appartenant aux trois classes de densité	15

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Aperçu général de la localisation spatiale des parcelles échantillonnées	21
Annexe 2. Notes sur la Non Renouvelabilité de la Biomasse (NRB)	22

I. Contexte général

☞ Situation générale du projet Mahavotra

Le projet Mahavotra (durée de 4 ans, de 2011 à 2015) est situé dans la Région d'Itasy, proche de la capitale Antananarivo. L'Itasy est une région à vocation agricole, où la culture du riz est prédominante et où l'élevage bovin est principalement développé pour sa force de traction. Bien qu'en partie située en zone volcanique aux sols relativement riches, la plupart des espaces agricoles sont fortement dégradés, les érosions fréquentes et les massifs forestiers en constante disparition. Les systèmes de production agricole sont aujourd'hui en déclin et ont besoin d'évoluer pour pouvoir subsister.

Les activités de professionnalisation de l'agriculture mises en œuvre depuis 2008 par AGRISUD en appui aux producteurs de la Région montrent l'intérêt de promouvoir une action centrée sur divers domaines : la foresterie paysanne, l'agroforesterie et l'arboriculture fruitière tout en renforçant les systèmes maraîchers, vivriers et rizières.

☞ Objectif du projet

Le projet vise ainsi une évolution de l'agriculture à travers une restauration globale de l'environnement agroécologique des exploitations et par une intégration de l'arbre dans les systèmes, permettant à la fois de maintenir l'existant et d'investir sur des activités génératrices de revenus à moyen et long terme.

☞ Interventions d'Etc Terra

L'une des ambitions du projet Mahavotra est également d'évaluer la contribution des pratiques agroécologiques à l'atténuation du changement climatique, dans la perspective d'ouvrir une nouvelle voie de financement potentielle permettant le déploiement de ce type d'initiative dans la zone et à plus large échelle. C'est dans ce contexte que l'association Etc Terra, en plus d'assurer la supervision du projet en appui à la fondation GoodPlanet, coordonne la mise en œuvre de son volet « carbone » et est ainsi notamment chargée de l'activité relative au développement de méthodes d'analyse et de suivi de l'impact carbone du projet lié aux plantations d'espèces forestières et agroforestières.

L'objectif de ce rapport est de présenter la méthodologie et les résultats préliminaires de la séquestration du carbone dans la biomasse aérienne des arbres qui ont été plantés au cours des deux premières années du projet.

II. Approche méthodologique

Cette partie présente la méthodologie mise en place pour l'évaluation de la séquestration de carbone dans la biomasse des espèces ligneuses plantées dans le cadre du projet. Un premier travail à consister à identifier les espèces concernées par le projet.

II.1. Choix des espèces étudiées

Elles sont divisées en deux principales catégories selon leur destination :

☞ Espèces à vocation énergétique / bois de construction :

Dans ce cas, les arbres plantés feront l'objet de coupe régulière ou de rotation durant leur croissance sachant que l'objectif principal du boisement est d'approvisionner les paysans en bois de chauffe (durant la croissance) / bois de construction (à terme). Pour le calcul de séquestration, on considère seulement la biomasse souterraine.

La partie aérienne de ces espèces étant utilisée comme source d'énergie et de revenus elle sera calculée en marge du potentiel de séquestration à long terme.

☞ Espèces à vocation fruitière

Cette catégorie concerne, entre autres, les espèces fruitières. Il s'agit alors d'une plantation pérenne dont l'objectif principal consiste à produire des fruits. Le caractère vivace des arbres sera ainsi pris en considération dans le calcul et la modélisation.

Les 12 espèces les plus demandées par les paysans, dans le cadre des plans d'aménagement réalisés par le projet, sont listées dans le tableau ci-après.

Tableau 1. Espèces les plus demandées par les paysans dans le projet

Type	Nom malagasy	Nom scientifique	Nom français
Essences Forestières	Kininina lahy	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalyptus
Essences Forestières	Kininina vavy	<i>Eucalyptus robusta</i>	Eucalyptus
Essences Forestières	Kininina oliva	<i>Eucalyptus citriodora</i>	Eucalyptus
Essences Forestières	Akasia	<i>Acacia mangium</i>	Acacia
Essences Forestières	Akasia	<i>Acacia auriculiformis</i>	Acacia
Essences Forestières	Kesika	<i>Pinus kesiya</i>	Pin
Essences Forestières	Voandelaka	<i>Melia azadiracht</i>	Faux neem
Essences fruitières	Kafe	<i>Coffea arabica</i>	Caféier
Essences fruitières	Voasary	<i>Citrus sp</i>	Agrumes
Essences fruitières	Letisy	<i>Litchi Chinensis</i>	Litchi
Essences fruitières	Manga	<i>Mangifera indica</i>	Manguier
Essences fruitières	Zavoka	<i>Persea americana</i>	Avocatier

II.2. Inventaire des données et équations disponible

Pour pouvoir mesurer la séquestration de carbone des espèces plantées, il est important de s'appuyer sur les informations disponibles dans la littérature et sur des méthodes de calculs mobilisables afin d'identifier leurs spécificités et notamment leur domaine de validité (climat, altitude, espèce, etc.). Cela permet d'orienter plus efficacement les efforts de mesures sur le terrain et d'améliorer l'évaluation finale.

La bibliographie a porté notamment sur :

- La recherche des densités du bois des 12 espèces
- La recherche d'équations allométriques génériques et spécifiques par espèces
- La recherche des ratios génériques ou spécifiques de la biomasse souterraine/aérienne

II.3. Mesure de biomasse sur le terrain : inventaire dendrométrique et chronosequence

Le travail sur le terrain consiste à estimer la biomasse des espèces plantées dans le cadre du projet (voir ci-dessus) sur des individus ou arbre qui déjà disponibles et à des stades de croissances différents dans les zones d'Imerintsiatosika et d'Analavory. Pour ce faire, des équations allométriques sont utilisées afin d'estimer le poids de l'arbre en fonction de paramètres facilement mesurable sur le terrain. Deux paramètres essentiels sont considérés dans les équations allométriques génériques ou spécifiques : le diamètre et la hauteur totale. L'appareil de mesure de la hauteur des arbres utilisé est le vertex et on utilise un ruban.

☞ Echantillonnage

Pour pouvoir intégrer l'évolution de la croissance de la biomasse des espèces sur une période d'environ 20 ans, trois classes d'âge de plantation ont été défini dans le plan d'échantillonnage.

- Plantations moins de 5 ans
- Plantations entre 5 et 10 ans
- Plantations de plus de 10 ans

Ensuite le travail a consisté à identifier dans le paysage et au sein des exploitations agricoles les 12 espèces selon ces trois classes d'âge sous réserve que l'âge exact de chaque plantation soit connu. Pour une bonne représentativité statistique, un objectif de 30 arbres par espèces a été fixé soit 1080 à mesurer. Chaque arbre a enfin été mesuré (diamètre et hauteur) et géolocalisé.

II.4. Traitement et analyse des données

Dans un premier temps, une évaluation préliminaire de la séquestration de carbone dans la biomasse des espèces plantées à été réalisée à l'aide des logiciels EX-ACT et TARAM en connaissant au préalable les caractéristiques générales telles que la surface du projet, les occupations du sol sans projet, etc. Dans un second temps, les données collectées lors de l'étude préliminaire et sur le terrain ont été analysées et traitées dans l'objectif d'évaluer plus finement la séquestration de carbone et pour tous les compartiments de la biomasse (aérienne et souterraine). Pour ce faire, des modèles de croissance par espèce et en fonction des conditions biophysiques locales (niveau 3 de précision selon l'IPCC) ont été établies et appliquées.

III. Résultats de l'étude

III.1. Densités de bois

La densité du bois est un des paramètres des équations allométriques permettant de calculer le poids de l'arbre, c'est-à-dire sa biomasse aérienne. Elle dépend principalement de l'espèce végétale et peut varier grandement au sein d'un même genre ou famille.

Les densités de bois des 12 espèces ont été extraites de différents ouvrages scientifiques sur le sujet à Madagascar. Les valeurs de densités d'une seule espèce peuvent être différentes selon les localités, dans ce cas, la moyenne est utilisée.

Tableau 2. Densité du bois des espèces plantées

Nom scientifique	Densité	Références
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,75	1
<i>Eucalyptus robusta</i>	0,69	1
<i>Eucalyptus citriodora</i>	0,64	2
<i>Acacia mangium</i>	0,45	3
<i>Acacia auriculiformis</i>	0,68	4
<i>Pinus kesiya</i>	0,40	1
<i>Melia azadiracht</i>	0,42	5
<i>Coffea arabica</i>	0,62	6
<i>Citrus sp</i>	0,74	7**
<i>Litchi Chinensis</i>	0,88	8
<i>Mangifera indica</i>	0,55	8
<i>Persea americana</i>	0,55	7*

NB : Selon la disponibilité des données, on ajoute le code (*) si la moyenne de l'espèce dans différentes localités a été considérée et (**) dans le cas de la moyenne du genre.

Sont présentées ci-dessous les références des auteurs selon leurs codes respectifs :

Code	Auteurs
1	: Cirad Madagascar, 2010
2	: Rakotovao, G., A. Rabevohitra, J. Gerad, and P. Collas de Chatelperron, 2011. Atlas des Bois de Madagascar. Technical report, Cirad and Fofifa
3	: www.cirad.fr/fr/pg_recherche/ur.php?id=85
4	: Flynn Jr., J.H. and Holder, C.D. 2001. A Guide to Useful Woods of the World. 2nd ed. Forest Products Society, Madison.
5	: Martawijaya, A. et al. 1992. Indonesian Wood Atlas Vol. I. and II AFPRDC AFRD Department of Forestry Bogor Indonesia.
6	: Goldsmith, B. and D.T. Carter. 1981. The indigenous timbers of Zimbabwe. The Zimbabwe Bulletin of Forestry Research No. 9:x, 406 pp.
7	: Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. et al. 2009. Global wood density database.
8	: Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. and Lugo, A.E. 1992. Wood densities of tropical tree species. General Technical Report SO-88, United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Brown's 1997 FAO Primer is a summary of these data.

III.2. Equations allométriques disponibles

III.4.1. Equations génériques standards

Biomasse aérienne

Durant la recherche des équations allométriques adaptées au contexte du projet, les équations génériques ont été privilégiées afin de permettre un calcul plus simple, robuste et reproductible à plus large échelle. Dans nos deux zones d'intervention, le choix a été porté sur l'équation établie par Chave et al en 2005 qui intègre le diamètre, la hauteur et la densité.

Pour la zone humide comme le cas de la présente étude, cette équation standard s'écrit comme suit :

$$ABG = \text{Exp}^{-2,977 + \ln(\rho D^2 H)}$$

Avec

- ABG* : Biomasse aérienne (Kg/arbre)
- D* : Diamètre à 1,30m
- H* : Hauteur Totale en m

III.4.2. Equations spécifiques

Bien qu'il existe des équations génériques, d'autres équations spécifiques peuvent également être mobilisables dans le calcul de séquestration. Cependant, il a été précisé dans l'ouvrage de CHAVE et al (2005) que les équations spécifiques ne sont valables que dans la zone où elles ont été établies.

Dans le cadre de ce travail, les équations spécifiques sont utilisées surtout pour comparer les résultats issus de modèle standard et également dans le cas où le modèle générique rencontre des limites (cas des arbustes comme les caféiers, etc.). pour les 12 espèces étudiées, 4 sont pourvues d'équations allométriques spécifiques.

Tableau 3. Equations allométriques disponibles pour les espèces plantées

Espèces	Equations	Source	Zones d'étude
<i>Eucalyptus robusta</i>	$ABG = 1582 \times G^{0,930}$ $BLG = 0,018 \times Cir_s^{1,478}$	1	Madagascar (Hautes terres centrales)
<i>Acacia mangium</i>	$ABG = 0,1876 \times D^{1,131}$	2	Nouvelle Guinée, Vietnam, Indonésie
<i>Coffea arabica</i>	$\text{Log}_{10}(ABG) = -1,1 - 1,6\text{Log}_{10}d_{15} + 0,6\text{Log}_{10}h$	3	Amérique tropicale (Nicaragua)
<i>Mangifera indica</i>	Si $d < 25\text{cm}$, $ABG = -2,43 + 0,154D + 0,193H$ Si d entre 25 et 65 cm, $ABG = -26,6 + 0,614D + 0,39H$ Si $d > 65\text{cm}$, $ABG = -115 + 1,59D + 3,38H$	5	Inde

Avec

- Cir_s : Circonférence au niveau de la souche (Eucalyptus)
- D, d : Diamètre à 1,30m
- D_{15} : Diamètre mesuré à 15cm au dessus du sol
- G : Surface terrière en m²/arbre (en utilisant le diamètre mesuré à 1,30cm du sol) ?
- H : Hauteur Totale en m
- ABG : Biomasse aérienne (Kg/arbre)
- BLG : Biomasse souterraine (Kg/arbre)

Pour le code des auteurs, les références sont respectivement les suivantes:

Code	Auteurs	Code	Auteurs
1	: RAZAKAMANARIVO, 2009	4	: SCHROTH et al (2002)
2	: Université Philippines, 2003	5	: CHAVAN et al, 2012
3	: SEGURA et al (2006)		

Cas des espèces non-ligneuses

Pour information, il existe un modèle allométrique pour le bananier (cf. ci-dessous), mais vue sa faible représentation dans les plantations (idem pour le papayer), aucun travail spécifique sur ces espèces non ligneuses n'est envisagé.

$$ABG = 0,030 D_{1,35}^{2,13}$$

Avec ABG : biomasse aérienne (kg) et $D_{1,35}$ le diamètre (cm) mesuré à 1,35 m du sol.

III.3. Ratios biomasse souterraine/biomasse aérienne

la biomasse aérienne, l'évaluation de la séquestration de carbone peut se faire également sur la biomasse souterraine. Sachant qu'aucune équation allométrique générique de prédiction de la biomasse souterraine n'existe (ou rarissime dans la littérature), on utilise le ratio racine/pousse (ou root/shoot en anglais) suivant les données déjà publiées au niveau international et national (niveau 1 de précision selon l'IPCC). La priorité sera d'opter pour des équations par espèce, comme pour les cas de *Mangifera indica* ($r = 0,26$ selon Chavan et al, 2012) mais en l'absence de données spécifiques, on aura recours aux valeurs de ratio racine/pousse proposées par l'IPCC (tableau 4). Pour notre étude, on prend le cas le ratio 0,20 propre au domaine subtropical, zone écologique de forêt humide subtropicale, avec une biomasse aérienne moins de 125 tonnes à l'hectare.

Tableau 4. Ratio racine/pousse selon la zone écologique mondiale (Domaine Tropical et Subtropical). Le ratio utilisée est surligné en vert.

Domaine	Zone écologique	Biomasse aérienne	Ratio
Tropical	Forêt dense tropicale		0,37
	Forêt décidue humide tropicale	Biomasse aérienne < 125 tonnes ha ⁻¹	0,20
		Biomasse aérienne > 125 tonnes ha ⁻¹	0,24
	Forêt sèche tropicale	Biomasse aérienne < 20 tonnes ha ⁻¹	0,56
		Biomasse aérienne > 20 tonnes ha ⁻¹	0,28
	Terres arbustives tropicales		0,24
Système montagneux tropical		0,27	

Subtropical	Forêt humide subtropicale	Biomasse aérienne < 125 tonnes ha ⁻¹	0,20
		Biomasse aérienne > 125 tonnes ha ⁻¹	0,24
	Forêt sèche subtropicale	Biomasse aérienne < 20 tonnes ha ⁻¹	0,56
		Biomasse aérienne > 20 tonnes ha ⁻¹	0,28
Steppe subtropicale		0,32	

Source : d'après IPCC, 2006

III.4. Evaluation de la séquestration de carbone à 20 ans

La séquestration de carbone à 20 ans des espèces plantées a pu être évaluée au moyen de la connaissance de la biomasse des arbres et selon une chronosequence d'arbre d'âge différent.

III.4.1. Campagnes de mesure sur le terrain

Quatre campagnes de mesures ont été effectuées dont les deux premières ont été réalisées dans le second semestre 2013 et les deux autres ont eu lieu en mars 2014.

Le travail consiste à mesurer sur le terrain au moyen de ruban dendrométrique et de l'appareil vertex le diamètre à 1,30m du sol (quelque fois de diamètres spécifiques pour quelques espèces, entre autres, les caféiers) et la hauteur totale de chaque arbre.

A noter que durant les campagnes de mesure sur le terrain, pour collecter le maximum d'informations et également pour étoffer les bases de données actuelles, les coordonnées géographiques de tous les pieds d'arbres ont été relevées.



Photo 2. Parcelles d'inventaires : des orangers (à gauche) et des caféiers (à droite)

Sachant que pour de raison de représentativité, l'objectif initial a consisté à mesurer au moins 1080 pieds sur les deux zones. Le nombre d'arbre touché durant les campagnes d'inventaire a largement dépassé cet objectif étant donné que 1182 pieds ont été mesurés sur le terrain. La répartition par espèce de ces pieds d'arbres selon les classes d'âges est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 5. Répartition de toutes les plantations mesurées selon les classes d'âges

Espèces	< 5 ans	Entre 5 à 10 ans	> 10 ans	Total
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	31	32	30	93
<i>Eucalyptus robusta</i>	30	41	32	103
<i>Eucalyptus citriodora</i>	31	31	31	93
<i>Acacia mangium</i>	43	30	26	99
<i>Acacia auriculiformis</i>	36	30	25	91
<i>Pinus kesiya</i>	45	30	30	105
<i>Melia azadiracht</i>	30	32	31	93
<i>Coffea arabica</i>	65	30	30	125
<i>Citrus sp</i>	30	50	30	110
<i>Litchi sinensis</i>	30	30	30	90
<i>Mangifera indica</i>	30	30	30	90
<i>Persea americana</i>	29	30	31	90
Total	430	396	356	1182

III.4.2. Principaux résultats sur les 12 espèces

– Accroissement annuel en biomasse

C'est à partir de ces 1182 arbres que différents calculs ont été réalisés afin d'estimer la croissance de l'arbre et la séquestration de carbone à 20 ans. Les résultats bruts sur la biomasse aérienne cumulée et l'accroissement annuel en biomasse de toutes les espèces inventoriées dans les différentes classes d'âges se dans le fichier excel annexé à ce rapport.

Les deux figures suivantes montrent les tendances des courbes de croissance en biomasse des 12 espèces dans les trois classes d'âges de plantation.

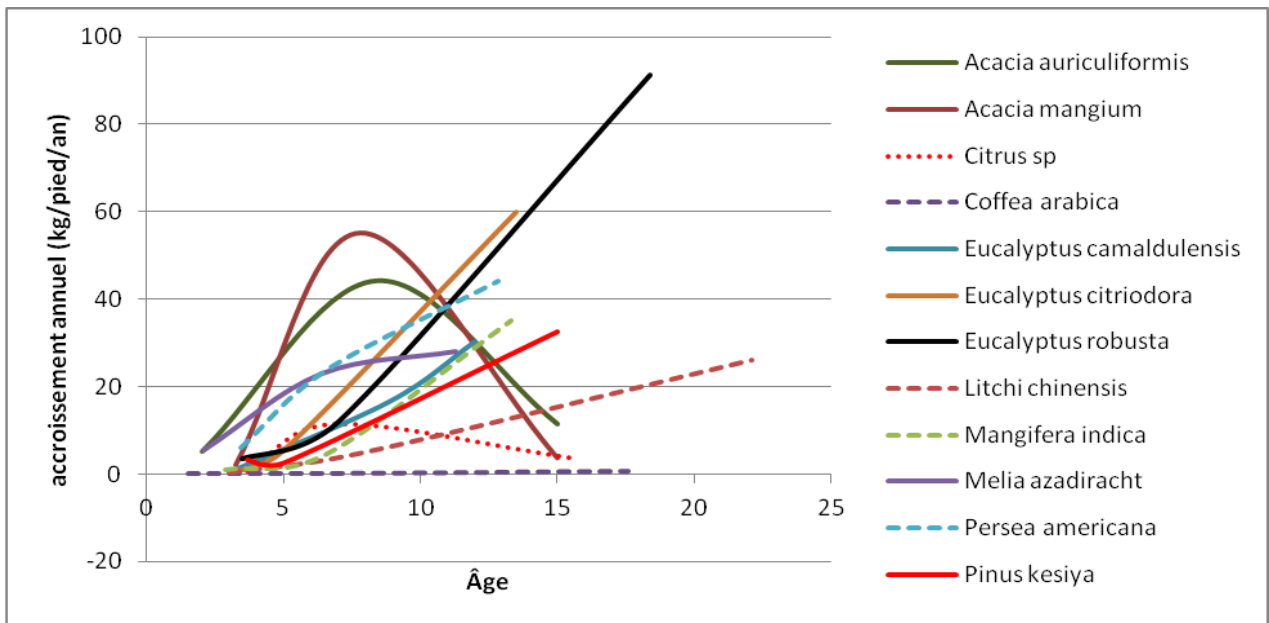


Figure 1. Accroissement annuel en biomasse selon les trois classes d'âges

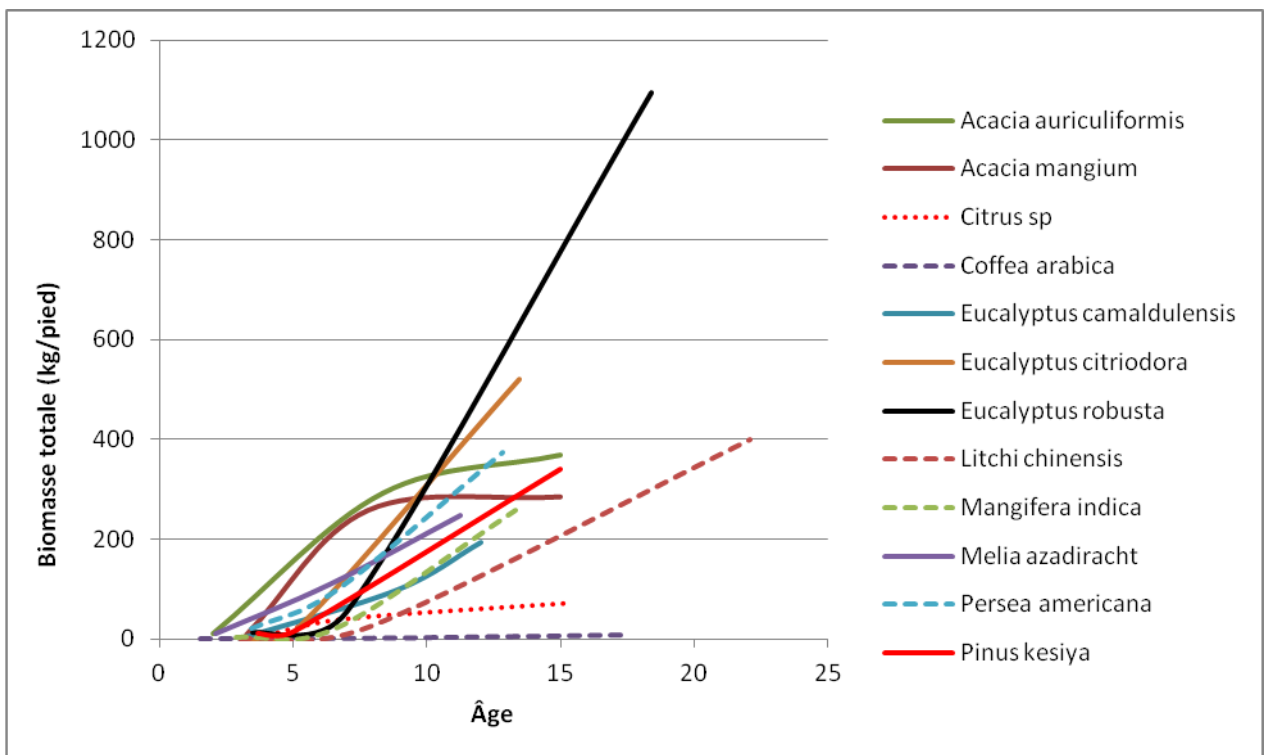


Figure 2. Biomasse totale (aérienne et souterraine) selon les trois classes d'âges

Dans les deux figures 1 et 2, les courbes de croissance des espèces fruitières sont représentées par des traits discontinus et celles des espèces forestières par des traits continus. A première vue, il est observé que les espèces fruitières ont une croissance plus lente que les espèces forestières.

Pour les espèces forestières, ce sont surtout les eucalyptus et les pins (*Pinus kesiya*) qui ont une croissance croissante et continue en 20 ans (figure 1). Cette tendance est également observée sur *Melia azadiracht*. Par contre, les espèces d'acacias ont une croissance plus importante dans les huit premières années et cet accroissement connaîtra ensuite une diminution assez brusque à partir de 10 ans.

Concernant les espèces fruitières, les courbes de croissance sont plus ou moins stables et l'accumulation en biomasse se fait de manière progressive et continue. Par contre, il est à noter que pour les agrumes (*Citrus sp*), cet accroissement annuel connaît une légère diminution à partir de la sixième année de la plantation.

Par ailleurs, ces deux figures (1 et 2) montrent aussi que les courbes de croissance ont une relation avec la densité de bois. Les espèces ayant une densité de bois élevée (*Citrus sp*, $d=0,74$) croissent moins vite tandis que les espèces moins denses (*Melia azadiracht*, $d=0,42$, *Acacia mangium*, $d=0,45$) ont une croissance rapide dans les premières années de plantation.

– **Comparaison des résultats par rapport à la bibliographie**

La comparaison des résultats obtenus dans cette étude par rapport à ceux publiés dans la littérature porte essentiellement sur la **biomasse aérienne**. Des modifications ont été apportées afin d'obtenir des valeurs comparables (à ramener $m^3/ha/an$ à l'unité $kg/arbre/an$) car d'une part, il est rarissime de trouver dans des ouvrages des valeurs de l'accroissement annuel en biomasse (sauf des données standards dans l'IPCC) et d'autre part, les études antérieures sont plutôt axées sur l'accroissement annuel en volume en $m^3/ha/an$. Ainsi, les hypothèses suivantes ont été émises pour lancer le calcul :

- Accroissement en biomasse aérienne ou A_{BA} (tonne/ha/an) : Densité de bois ($tonne/m^3$) x accroissement en volume ($m^3/ha/an$)
- Facteur d'Expansion de la biomasse (FEB) : 1,74 s'il s'agit d'un volume commercialisable (selon Brown, 1997).
- Densité des plantations ou D_{plant} (nb tiges/hectare) : si non mentionnée, 1100 tiges/ha avec un espacement de 3m x 3m

Est présentée comme suit La formule utilisée pour obtenir l'accroissement en biomasse par arbre par an:

$$A_{BA} (kg/arbre/an) = \frac{A_{BA} (tonne/ha/an) \times 1000 \times FEB}{D_{plant} (nb arbres/ha)}$$

A l'échelle nationale voire locale, on s'est appuyé sur des ouvrages relatifs à la capitalisation des données existantes sur le reboisement, entre autres, le rapport FAO (1999) sur la compilation et analyse des données existantes sur le secteur des plantations forestières de Madagascar et les données de FOFIFA dans les sites d'expérimentation.

Tableau 6. Exemples des données disponibles sur l'accroissement annuel en volume commercialisable à l'échelle nationale et locale

Espèces	Accroissement annuel en volume	Sources	Echelle
<i>Eucalyptus robusta</i>	22,5 m ³ /ha/an	FAO, 1999	Nationale
<i>Eucalyptus Citriodora</i>	14,4 m ³ /ha/an (104 mois)	FOFIFA, 2013	Locale (Kianjasoa)
<i>Pinus kesiya</i>	20,7m ³ /ha/an	FAO, 1999	Nationale

En appliquant la formule susmentionnée, on a pu ressortir les résultats suivants lesquels sont comparés avec ceux de notre étude :

Tableau 7. Accroissement annuel en biomasse aérienne : comparaison des données biblio avec les données terrain sur 3 espèces.

	A_{BA} biblio (Kg/arbre/an)	A_{BA} Mahavotra (Kg/arbre/an)
<i>Eucalyptus robusta</i>	24,55	18,81
	$p < 0,0001$	
<i>Eucalyptus citriodora</i>	14,57	17,39
	$p < 0,0001$	
<i>Pinus kesiya</i>	11,84	7,41
	$p < 0,0001$	

Avec A_{BA} : Accroissement en biomasse aérienne

Cette d'analyse comparative permet de situer la présente étude par rapport aux données nationales existantes sur les accroissements annuels des espèces. Par rapport à la moyenne nationale, les accroissements des espèces *Eucalyptus robusta* et *Pinus kesiya* sont plus faibles. Or comparé avec les données locales de FOFIFA (Kianjasoa), la valeur ressortie de cette étude est plus élevée pour l'espèce *Eucalyptus citriodora*.

Par rapport aux données internationales de l'IPCC (2006), l'accroissement en volume aérien de l'espèce *Eucalyptus robusta* varie de 10 à 40 m³/ha/an. Toujours en appliquant la formule ci-dessus, ces valeurs correspondent à un accroissement annuel en biomasse de 10,91 kg/arbre/an à 43,65 kg/arbre/an. La valeur obtenue durant cette étude se trouve entre ces deux valeurs extrêmes, de l'ordre de 18,81 kg/arbre/an.

– **Croissance moyennes selon les densités**

En vue de constituer une base de départ pour l'évaluation de la séquestration de carbone à l'échelle du projet, il a été jugé nécessaire de réviser la classification des espèces compte tenu d'une grande variabilité interspécifique des courbes de croissance.

En effet, l'idée est de construire une base de calcul à partir des moyennes des 12 espèces étudiées. Lors du dernier comité de pilotage du projet en novembre 2013, il a été cité parmi les options possibles de choisir la séquestration moyenne selon les familles auxquelles les espèces appartiennent. Or, à part les eucalyptus et les acacias, les 12 espèces appartiennent à de familles différentes si bien que le regroupement selon les familles semble moins pertinent.

Ainsi, une autre option semble plus appropriée. Il importe de grouper les espèces selon les densités en restant sur la logique que la variabilité des courbes de croissance a une relation avec la densité de bois. C'est ainsi qu'on a pris la séquestration moyenne de carbone selon la classe de densité de toutes les espèces.

Selon la valeur de la densité de bois des espèces, 3 classes de densité ont été choisies pour cette étude, à savoir :

- Espèces à densité faible: $d < 0,5$
- Espèces à densité moyenne : d entre 0,5 et 0,7
- Espèces à densité élevée : $d > 0,7$

Pour l'évaluation de la séquestration de carbone dans la biomasse de toutes les espèces plantées dans le cadre de Mahavotra, les valeurs moyennes suivantes sont ainsi utilisées dans les calculs selon les classes d'âges et les classes de densité sachant que **Carbone = biomasse x 0,5** (Brown, 1997).

Tableau 8. Biomasse/carbone : Valeurs moyennes à considérer pour les espèces à densité faible

– **8a. Biomasse aérienne**

Classe d'âge (densité inf à 0,5)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	6	14
biomasse aérienne moyenne (kg/arbre)	8,46	106,83	242,58
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	4,23	53,41	121,29
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	1,41	15,70	16,49
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	2,82	31,40	32,98

– **8b. Biomasse souterraine**

Classe d'âge (densité inf à 0,5)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	6	14
biomasse souterraine moyenne (kg/arbre)	1,69	21,37	48,52
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	0,85	10,68	24,26
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	0,28	3,14	3,30
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	0,56	6,28	6,60

– **8c. Biomasse totale**

Classe d'âge (densité inf à 0,5)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	6	14
biomasse totale moyenne (kg/arbre)	10,15	128,19	291,10
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	5,08	64,10	145,55
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	1,69	18,84	19,79
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	3,38	37,68	39,57

Tableau 9. Biomasse/carbone : Valeurs moyennes à considérer pour les espèces à densité moyenne

– **9a. Biomasse aérienne**

Classe d'âge (densité entre 0,5 et 0,7)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	7	15
Biomasse aérienne moyenne (kg/arbre)	6,78	66,41	364,04
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	3,39	33,20	182,02
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	1,24	7,93	22,26
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	2,47	15,85	44,51

– **9b. Biomasse souterraine**

Classe d'âge (densité entre 0,5 et 0,7)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	7	15
Biomasse souterraine moyenne (kg/arbre)	1,36	13,28	72,81
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	0,68	6,64	36,40
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	0,25	1,59	4,45
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	0,49	3,17	8,90

– **9c. Biomasse totale**

Classe d'âge (densité entre 0,5 et 0,7)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	7	15
Biomasse totale moyenne (kg/arbre)	8,14	79,69	436,84
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	4,07	39,84	218,42
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	1,48	9,51	26,71
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	2,97	19,02	53,42

Tableau 10. Biomasse/carbone : Valeurs moyennes à considérer pour les espèces à densité élevée

– **10a. Biomasse aérienne**

Classe d'âge (densité supérieure à 0,7)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	8	17
Biomasse aérienne moyenne (kg/arbre)	1,54	45,58	184,65
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	0,77	22,79	92,33
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	0,24	4,90	10,66
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	0,48	9,81	21,32

– **10b. Biomasse souterraine**

Classe d'âge (densité supérieure à 0,7)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	8	17
Biomasse souterraine moyenne (kg/arbre)	0,31	9,12	36,93
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	0,15	4,56	18,47
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	0,05	0,98	2,13
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	0,10	1,96	4,26

– **10c. Biomasse totale**

Classe d'âge (densité supérieure à 0,7)	Moins de 5 ans	entre 5 et 10 ans	Supérieur à 10 ans
Age moyen	3	8	17
Biomasse totale moyenne (kg/arbre)	1,84	54,69	221,58
Stock de carbone moyen (kg/arbre)	0,92	27,35	110,79
Séquestration annuel de C (kg/arbre/an)	0,29	5,89	12,79
Accroissement annuel en biomasse (kg/arbre/an)	0,57	11,77	25,59

En résumé, la figure 3 suivante présente les courbes des accroissements annuels en biomasse totale des espèces appartenant à ces trois classes de densité et en fonction de l'âge.

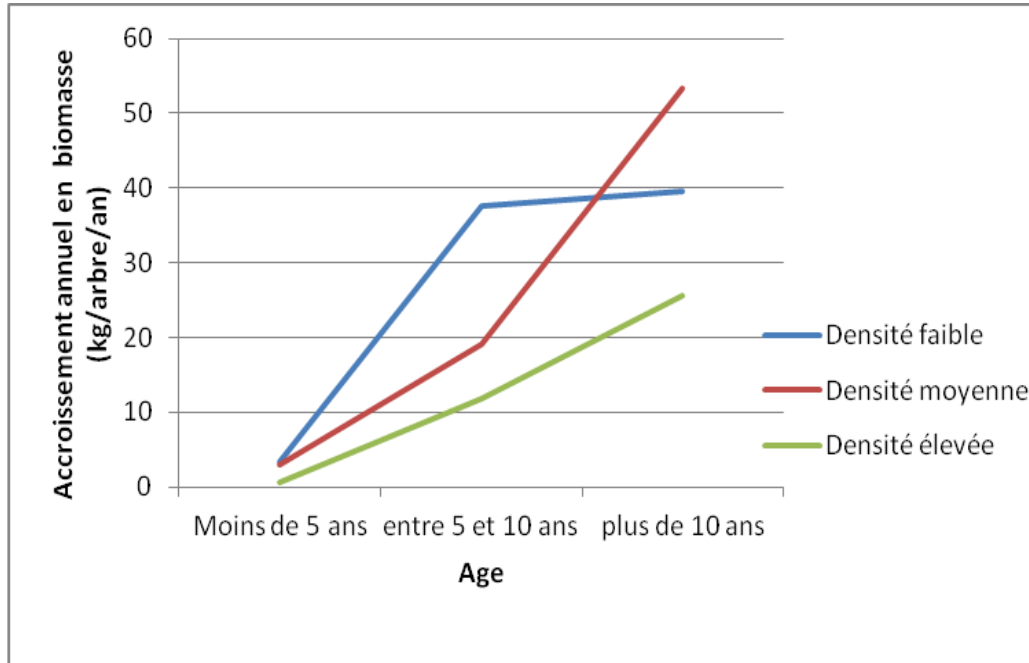


Figure 3. Accroissements annuels en biomasse totale des espèces appartenant aux trois classes de densité

D'après cette figure, il est constaté que la forme des courbes diffère selon la classe de densité. Les espèces de faible densité ont une forte croissance durant les premières années de plantation. En effet, ce sont surtout des espèces héliophiles à croissance rapide dans la mesure où une quantité de lumière est suffisante pour son développement. Comme exemples, on peut citer les espèces *Acacia mangium*, *Melia azadiracht* et *Pinus kesiya*.

Pour les espèces ayant une densité moyenne, les arbres croissent moins vite durant les premières années mais c'est à partir de la dixième année qu'ils connaissent une croissance plus importante. Tel est le cas des espèces forestières comme *Acacia auriculiformis*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus robusta* et les espèces fruitières comme *Mangifera indica* et *Persea americana*.

Pour les espèces de densité élevée, la croissance est lente mais également constante et linéaire tout au long de la vie de la plante. Ces caractéristiques sont observées sur l'espèce forestière *Eucalyptus camaldulensis* et sur les espèces fruitières *Citrus sp* et *Litchi sinensis*.

Il est à préciser que c'est selon la destination de la plantation qu'on considère les parties aériennes et souterraines pour l'évaluation de la séquestration. Pour les espèces à vocation énergétique, faisant objet de coupe régulière, c'est plutôt la biomasse souterraine seulement qu'on considère pour faciliter le calcul qui, normalement, devrait tenir compte du non renouvelabilité de la biomasse (**NRB**) (Annexe 2). Par contre, la valeur de la biomasse totale sera considérée pour les autres espèces, entre autres, les espèces fruitières.

III.4.3. Extrapolation des résultats à l'échelle du projet

En combinant avec la base de données Mahavotra durant les deux premières années du projet, les principaux résultats d'évaluation de séquestration de carbone à partir des 12 espèces permettent une extrapolation à l'échelle du projet.

Sont présentées dans les tableaux ci-dessous les réalisations durant les deux années de projet en termes de reboisement des espèces forestières et fruitières.

Tableau 11. Nombre de plants fruitiers et agroforestiers plantés durant les deux premières années du projet Mahavotra

Espèces fruitières	Nom scientifique	Année 1	Année 2	Nb cumulé	Densité
Agrumes	<i>Citrus sp</i>	7998	41174	49172	0,74
Avocatier	<i>Persea americana</i>	70	1120	1190	0,55
Bibassier	<i>Eriobotrya japonica</i>		112	112	0,88
Caféier	<i>Coffea arabica</i>	11005	24068	35073	0,62
Citronnier	<i>Citrus limon</i>	117	372	489	0,74
Jacquier	<i>Artocarpus integrifolia</i>		10	10	0,49
Kaki	<i>Diospiros kaki</i>	970	3555	4525	0,63
Litchi	<i>Litchi sinensis</i>	2194	4021	6215	0,88
Manguier	<i>Mangifera indica</i>	480	1749	2229	0,55
Moringa	<i>Moringa oleifera</i>	684	244	928	0,26
Pêcher	<i>Prunus persica</i>	299	1189	1488	0,58
Poirier	<i>Pyrus communis</i>	11	841	852	0,63
Pommier	<i>Malus sp</i>	413	2192	2605	0,6
Ravintsara	<i>Ravensara madagascariensis</i>	495	11638	12133	0,6
Tamarinier	<i>Tamarindus indica</i>		325	325	0,87

Tableau 12. Nombre de plants forestiers plantés durant les deux premières années du projet Mahavotra

Espèces forestières	Nom scientifique	Année 1	Année 2	Nb cumulé	Densité
Acacia	<i>Acacia sp</i>	7209	8877	16086	0,5
Albizzia lebeck	<i>Albizzia lebeck</i>		286	286	0,58
Cassia simea	<i>Cassia simea</i>		1030	1030	0,66
Cassia spectabilis	<i>Cassia spectabilis</i>	2507	840	3347	0,48
Eucalyptus citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	12467	29922	42389	0,64
Eucalyptus sp	<i>Eucalyptus sp</i>	33627	63526	97153	0,69
Filao	<i>Casuarina equisetifolia</i>		2395	2395	0,79

Grevilea	<i>Grevillea sp</i>		225	225	0,612
Harongana	<i>Harungana madagascariensis</i>	1631	339	1970	0,47
Jacaranda	<i>Jacaranda arborea</i>		2300	2300	0,41
Mantaly	<i>Terminalia mantaly</i>		1197	1197	0,69
Pawlonia	<i>Pawlonia sp</i>		599	599	0,25
Pinus	<i>Pinus kesyia</i>	5140	34185	39325	0,4
Podocarpus	<i>Podocarpus madagascarinsis</i>		710	710	0,59
Sohihy	<i>Adina microcephala</i>		215	215	0,75
Tectona	<i>Tectona grandis</i>	33		33	0,6
Toona	<i>Toona sinensis</i>		2422	2422	0,49
Tsitohavina	<i>Dodonae madagascariensis</i>		1120	1120	0,94
Voandelaka	<i>Melia azadiracht</i>	4440	8305	12745	0,42

La séquestration de carbone dans 20 ans est évaluée comme suit compte tenu de ces données de terrain et en fonction de la destination de la plantation.

Tableau 13. Séquestration de carbone dans 20 ans dans la biomasse des espèces fruitière et agroforestières.

Espèces fruitières/agroforestières	Nom scientifique	Séquestration annuelle de carbone en tonne (aérien + souterrain)			Séquestration de carbone cumulée en 20ans (Tonne)
		0 à 5 ans	5 à 10 ans	10 à 20 ans	
Agrumes	<i>Citrus sp</i>	14,26	289,62	628,91	7 809
Avocatier	<i>Persea americana</i>	1,76	11,32	31,78	383
Bibassier	<i>Eriobotrya japonica</i>	0,03	0,66	1,43	18
Caféier	<i>Coffea arabica</i>	51,91	333,54	936,80	11 295
Citronnier	<i>Citrus limon</i>	0,14	2,88	6,25	78
Jacquier	<i>Artocarpus integrifolia</i>	0,02	0,19	0,20	3
Kaki	<i>Diospiros kaki</i>	6,70	43,03	120,86	1 457
Litchi	<i>Litchi sinensis</i>	1,80	36,61	79,49	987
Manguier	<i>Mangifera indica</i>	3,30	21,20	59,54	718
Moringa	<i>Moringa oleifera</i>	1,57	17,48	18,37	279
Pêcher	<i>Prunus persica</i>	2,20	14,15	39,74	479
Poirier	<i>Pyrus communis</i>	1,26	8,10	22,76	274
Pommier	<i>Malus sp</i>	3,86	24,77	69,58	839
Ravintsara	<i>Ravensara madagascariensis</i>	17,96	115,38	324,07	3 907
Tamarinier	<i>Tamarindus indica</i>	0,09	1,91	4,16	52
				TOTAL (Tonne)	28 578

Tableau 14. Séquestration de carbone souterrain dans 20 ans dans la biomasse des espèces forestières.

Espèces forestières	Nom scientifique	Séquestration annuelle de carbone souterrain en tonne			Séquestration de carbone cumulée en 20ans (Tonne)
		0 à 5 ans	5 à 10 ans	10 à 20 ans	
Acacia	<i>Acacia sp</i>	4,02	25,58	71,58	864
Albizzia	<i>Albizzia lebeck</i>	0,07	0,45	1,27	15
Cassia simea	<i>Cassia simea</i>	0,26	1,64	4,58	55
Cassia spectabilis	<i>Cassia spectabilis</i>	0,94	10,51	11,05	168
Eucalyptus citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	10,60	67,40	188,63	2 276
Eucalyptus sp	<i>Eucalyptus sp</i>	24,29	154,47	432,33	5 217
Filao	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0,12	2,35	5,10	63
Grevilea	<i>Grevillea sp</i>	0,06	0,36	1,00	12
Harongana	<i>Harungana madagascariensis</i>	0,55	6,19	6,50	99
Jacaranda	<i>Jacaranda arborea</i>	0,64	7,22	7,59	115
Mantaly	<i>Terminalia mantaly</i>	0,30	1,90	5,33	64
Pawlonia	<i>Pawlonia sp</i>	0,17	1,88	1,98	30
Pinus	<i>Pinus kesyia</i>	11,01	123,48	129,77	1 970
Podocarpus	<i>Podocarpus madagascariensis</i>	0,18	1,13	3,16	38
Sohihy	<i>Adina microcephala</i>	0,01	0,21	0,46	6
Tectona	<i>Tectona grandis</i>	0,01	0,05	0,15	2
Toona	<i>Toona sinensis</i>	0,68	7,61	7,99	121
Tsitohavina	<i>Dodonae madagascariensis</i>	0,06	1,10	2,39	30
Voandelaka	<i>Melia azadiracht</i>	3,57	40,02	42,06	639
				TOTAL (Tonne)	11 784

Au total, les réalisations des deux premières années de projet peuvent séquestrer **40 362 tonnes** de carbone via la plantation des arbres, soit un **147 996 tonnes** équivalent CO₂.

Sachant que le calcul sous EX-ACT a permis d'estimer une valeur de **238 071 tonnes** équivalent CO₂ durant les 4 années de projet, les résultats de cette étude se trouvent au delà de la moitié. Cependant, il est à souligner que le calcul initial avec ce logiciel n'a pas considéré la destination de la plantation si bien que cette valeur a été tirée de la biomasse totale des espèces en considérant la biomasse aérienne des espèces à vocation énergétique.

A titre comparatif, on estime que **364 000 tonnes** équivalent de CO₂ seraient séquestrés si aucune coupe sera prévue dans les 20 ans. Dans le cas où 50% des espèces forestières feront l'objet d'exploitation, la plantation des arbres permettrait de séquestrer **256 000 tonnes** équivalent de CO₂. Ces deux chiffres dépassent largement les objectifs initiaux en termes de séquestration de carbone.

III.4.1. Equations allométrique générique VS équation allométrique spécifique

Etant donné que certaines espèces sont pourvues d'équations allométriques spécifiques, il s'est avéré pertinent de faire des analyses comparatives des résultats. La comparaison a porté essentiellement sur le calcul des stocks de carbone par arbre pour trois (3) espèces à savoir *Eucalyptus robusta*, *Acacia mangium* et *Mangifera indica*.

Les résultats de l'analyse ont montré une différence hautement significative sur les valeurs de biomasse et de stock de carbone ($p < 0,0001$) entre les deux estimations. Les équations allométriques spécifiques ont tendance à sous estimer la biomasse. Comme déjà mentionné de nombreuses fois dans les littératures, notamment dans l'ouvrage de Brown (1997), les équations allométriques spécifiques ne sont valables que sur les zones où elles ont été établies. Par ailleurs, pour le cas de l'espèce *Acacia mangium*, le modèle spécifique, élaboré en Phillipines, a été construit sur 26 échantillons exceptés de gros arbres, si bien qu'une sous estimation assez conséquente est constatée.

Une validation empirique du choix modèle allométrique en pesant directement quelques arbres sur le terrain serait intéressante.

IV. Conclusion

Cette étude a permis d'avoir un aperçu sur la séquestration de carbone en 20 ans dans la biomasse des espèces plantées dans le cadre du programme Mahavotra. En se basant sur des espèces très demandées par les paysans, les travaux sur le terrain ont consisté notamment en la mesure des plantations existantes dans le paysage selon la classe d'âge, après une recherche bibliographique plus poussée sur les différents calculs mobilisables. Pour le traitement, l'équation allométrique standard de Chave et al (2005) incluant le diamètre, la hauteur et la densité, adaptée à la zone humide a été utilisée. Il en résulte que les réalisations des deux premières années de projet permettraient une séquestration de **147 996 tonnes** équivalent CO₂ au bout des vingt prochaines années et en tenant compte de l'exploitation des espèces à vocation énergétique. Cette évaluation s'est appuyée sur les bases de données du projet gérée par Agrisud et Amadèse (activité 1 et 2). Cette étude apporte des informations essentielles dans l'élaboration du calculateur de l'émissions/absorptions de GES à l'échelle de l'exploitation.

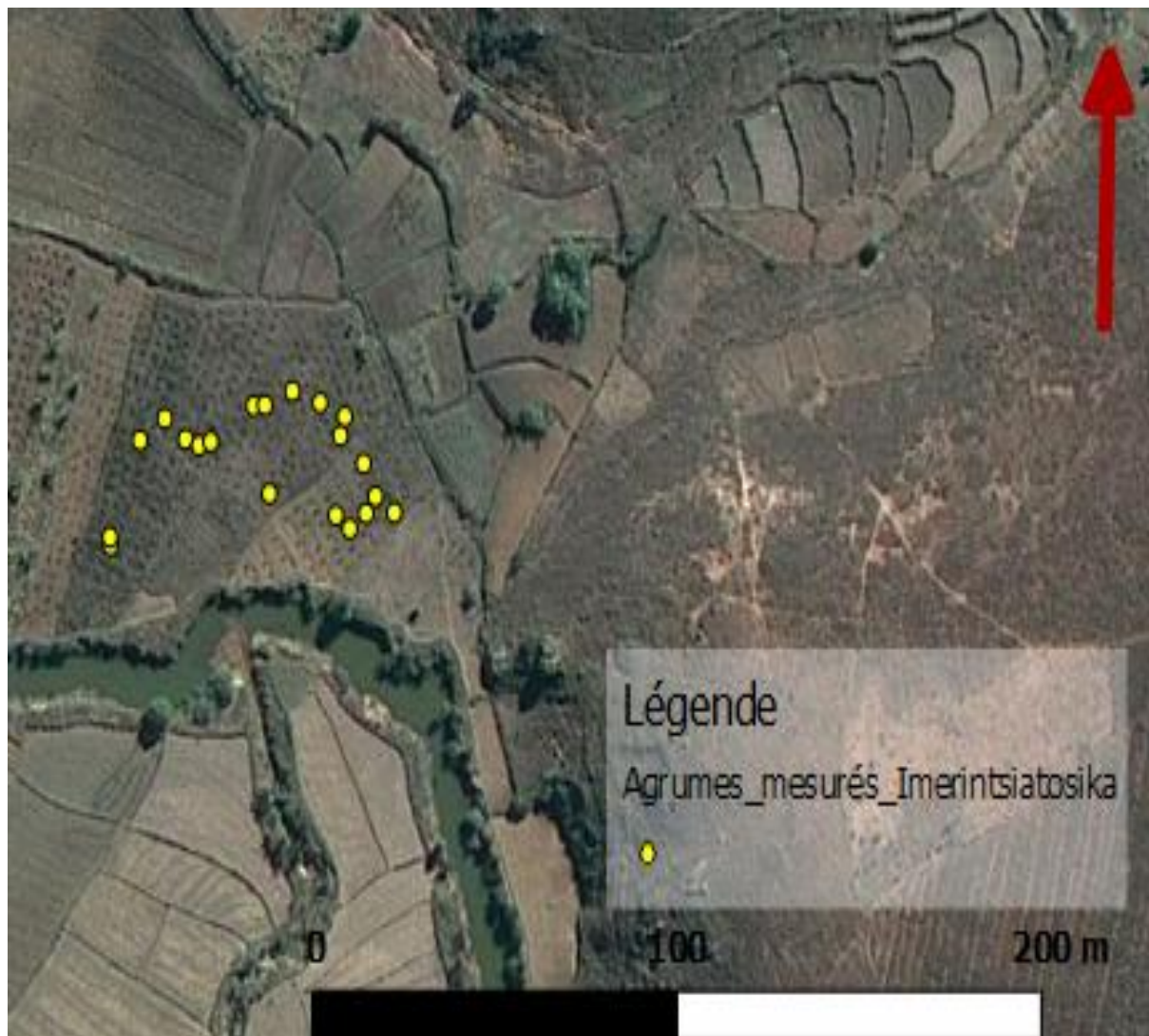
Références

- Benthall, A.P. 1984. The Trees of Calcutta: And its Neighborhood. Thacker Spink and Co. Ltd. Calcutta India.
- Chavan et al, 2012. Total sequestered carbon stock of *Mangifera indica*. In Journal of Environment and Earth science. Vol 2, No.1. pp 37-48.*
- Cirad Madagascar, 2010. Densités des bois à Madagascar. Compilation des données nationales.
- Fao, 1999. Rapport de compilation et d'analyse des données existantes sur le secteur des plantations forestières de Madagascar.
- Fao, 2011. EX – Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT). Guide technique pour la Version 3. 93 pages
- Flynn Jr., J.H. and Holder, C.D. 2001. A Guide to Useful Woods of the World. 2nd ed. Forest Products Society, Madison.
- Goldsmith, B. and D.T. Carter. 1981. The indigenous timbers of Zimbabwe. The Zimbabwe Bulletin of Forestry Research No. 9:x, 406 pp.
- Good planet et Agrisud, 2011. Document du Projet Mahavotra: Foresterie et Agroforesterie à Madagascar, Région Itasy. 15 pages.
- Initiative Développement (ID), 2011. Annual Biomass Production from Longjie Forest /Non Renewable Biomass (NRB). 11 pages.
- Martawijaya, A. et al. 1992. Indonesian Wood Atlas Vol. I. and II AFPRDC AFRD Department of Forestry Bogor Indonesia.
- Rakotovo, G., A. Rabevohitra, J. Gerad, and P. Collas de Chatelperron, 2011. Atlas des Bois de Madagascar. Technical report, Cirad and Fofifa
- Razakamanarivo, 2009. Potentialités de stockage du carbone dans le système plante-sol des plantations d'eucalyptus des hautes terres malgaches. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. 169 pages + annexes.
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. and Lugo, A.E. 1992. Wood densities of tropical tree species. General Technical Report SO-88, United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Brown's 1997 FAO Primer is a summary of these data.
- Schroth et al, 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. In Forest Ecology and Management 163. pp 131-150.
- Segura et al, 2006. Allometrics models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. In Agroforest Syst (2006) 68. pp 143-150.
- Université Philippines, 2003. A general allometrics equations for estimating biomass in *Acacia mangium* plantations. In Proceeding of the 2003 international conference on tropical forests and climate change. pp 212-218.
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. et al. 2009. Global wood density database.

Annexes

Annexe 1. Aperçu général de la localisation spatiale des parcelles échantillonnées

En superposant nos données sur le fonds Google Earth, la carte suivante donne un aperçu général de la localisation spatiale d'une des plantations échantillonnées. Il s'agit d'une des plantations d'agrumes à Imerintsiatosika.



Annexe 2. Notes sur la Non Renouvelabilité de la Biomasse (NRB)

Il s'agit de faire la différence entre la biomasse des arbres consommée par la population locale et la biomasse produite. Dans le cadre de la présente étude, la production annuelle de biomasse se réfère à la ressource naturelle disponible (tonnes de biomasse générée naturellement par habitant par an) et la consommation annuelle par habitant concerne la quantité de bois prélevé par habitant par an. Cette dernière sera obtenue au moyen de l'enquête socioéconomique sur le terrain.

Le ratio de NRB est calculé *via* la formule suivante :

$$R_{NRB} = \frac{C - P}{C}$$

Selon ID, 2011

Avec R_{NRB} , le ratio de NRB, C la consommation totale en tonne et P la production totale en tonne.

A noter que l'étude NRB n'est pas encore envisagée mais elle sera certainement indispensable dans le futur, notamment dans le cadre de l'écriture d'un véritable PDD et pourra s'appuyer sur l'étude de l'empreinte carbone des exploitations conduite par le LRI

Je pense également que ce point est indispensable. Il faut expliquer un peu plus comment tu vois les choses. On connaît la production grâce à cette étude, on peut estimer la consommation locale par ménage, on connaît les ménages donc on peut éventuellement faire un premier calcul à l'échelle d'une commune ? Je ne vois pas en quoi l'étude de l'empreinte carbone va permettre d'estimer cette valeur...(pour la consommation locale ?). Si tu as des seuils de NRB et les interprétations ce serait super.

| Association Etc Terra
| Lot VE 26 L - Ambanidia
| 101 Antananarivo
| www.etcterra.org

| Romuald Vaudry
| Mobile : +261 (0)34 49 840 01
| r.vaudry@etcterra.org

Etc **Terra**

