



Estimation de stocks Carbone des activités de boisement/reboisement du projet REDD+ Luki

07/11/2014

Danny Torres et Marie Nourtier
ONF International



Table des matières

TABLE DES MATIERES.....	1
ACRONYMES.....	2
CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	3
CONTEXTE DU PROJET	3
OBJECTIFS	4
METHODOLOGIE.....	5
REVISION DE BIBLIOGRAPHIE	5
PLANIFICATION DE L'INVENTAIRE	5
FORMATION DES EQUIPES D'INVENTAIRE	7
REALISATION DE L'INVENTAIRE.....	8
TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES	8
RESULTATS	9
CARACTERISTIQUES GENERALES DES BOISEMENTS	9
SCENARIOS D'AMENAGEMENT DE PLANTATIONS.....	11
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	14
ANNEXE 1 : PROTOCOLES POUR LA COLLECTE DES DONNEES D'INVENTAIRE FORESTIER	17



Acronymes

AR	Afforestation Reforestation / Boisement Reboisement
CBFF	Congo Basin Forest Fund / Fonds pour les Forêts du Bassin du Congo
CLD	Comité Local de Développement
CLP	Comité Local de Pilotage
FIP	Forest Investment Program / Programme d'investissement pour les Forêts
MRV	Monitoring, Reporting and Verification (Monitoring, Notification et Vérification)
ONFI	ONF International
OSFAC	Observatoires Satellitaires de Forêts d'Afrique Centrale
PAPASA	Programme d'Appui à la Production Agricole durable en périphérie de la réserve de Luki et la Sécurisation Alimentaire dans les districts de Boma et de Bas Fleuve
PDD	Project Design Document / Document de projet
PSE	Paielement pour service environnemental
RBL	Réserve de biosphère de Luki
RDC	République Démocratique du Congo
REDD+	Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts + conservation ou augmentation des stocks
RNA	Régénération naturelle assistée
WWF	World Wide Fund for nature

Contexte et objectifs

Contexte du projet

Les reboisements du projet

Cette étude est réalisée dans le cadre du développement d'un projet pilote REDD+ autour de la réserve de biosphère de Luki (RBL) en République Démocratique du Congo initié par le WWF et destiné à être porté par le CLP¹ de la réserve. Les projets pilotes ont été instaurés pour accompagner la construction de la stratégie nationale REDD+ du pays et bénéficient d'un financement du FFBC (Fonds forestier pour les pays du bassin du Congo ou CBFF en anglais).

Suite à l'étude de faisabilité du projet REDD+ de Luki (ONFI, 2013), il a été décidé d'orienter le projet vers une valorisation carbone des boisements/reboisements (projet AR) auprès du Gold Standard. En effet, dans le cadre du projet, il est prévu de réaliser les reboisements suivants :

- 1000 ha de plantations dont certaines sont des plantations d'Acacias valorisables dans le cadre d'un projet boisement/reboisement - les autres plantations étant prévues en forêt ne peuvent être prises en compte par ce type de valorisation carbone (cf. l'étude de faisabilité - ONFI, 2013) ;
- Et, 5000 ha de mises en défens du feu de savanes pour permettre la régénération naturelle assistée (RNA) du couvert forestier présent dans la région. Il a été décidé de développer cette activité à cette échelle suite au succès de régénération sur 300 ha dans le cadre du projet PAPASA ayant précédé le projet REDD+.

En plus de ces reboisements, d'autres pourront être ajoutés à la suite du financement du CBFF. C'est pourquoi, il a été décidé de rendre le document de projet (PDD) souple dans la définition de la zone de projet potentielle afin de pouvoir ajouter de nouvelles parcelles de reboisement au fur et à mesure de l'avancement du projet.

Le suivi carbone et la certification du projet

Dans le cadre des projets carbone forestier, il est essentiel de déterminer de manière fiable les stocks de carbone et leur évolution pendant la période d'accréditation du projet. En effet, les projets qui visent une certification de réduction d'émissions doivent faire une estimation au préalable des réductions attendus. Ce sont les estimations ex-ante qui seront présentées dans le PDD. Cependant, la certification des réductions est basée sur les estimations réelles résultant de la mise en œuvre du projet, ce sont les estimations ex-post. Les estimations ex-post sont donc réalisées en suivant un plan de surveillance, lequel à son tour doit être conforme à une méthodologie agréée par le standard choisi. Le processus permettant la certification de réductions d'émissions est nommé MRV (suivi, notification et vérification). Les crédits carbone sont réellement émis à chaque vérification. Ils dépendent du nombre de réduction d'émissions ou de la quantité carbone séquestrée (cas de ce projet) exprimées en tCO₂eq desquelles sont déduits un buffer de non permanence et des émissions de carbone liées aux fuites éventuelles. De plus, seront déduites les émissions liées à la préparation du terrain le cas échéant (par exemple, si des arbres sont coupés pour un labour).

Afin d'estimer ex ante la séquestration du projet qui sera valorisable sur les marchés du carbone et qui sera présentée dans le document de projet à soumettre au Gold Standard, il est nécessaire de connaître les types de reboisements qui seront effectués (l'éligibilité des terres selon leur localisation

¹ Le CLP - pressenti comme porteur du projet officiel - représente l'ensemble des CLD (Comités locaux de développement) élus par chaque village concerné par le projet pour superviser les activités et gérer les bénéfices du projet.

sera vérifiée systématiquement), le potentiel de séquestration de chaque type qui est estimé grâce à des inventaires de stocks de carbone et les itinéraires techniques adoptés (date de plantation/mise en défens, densité de la plantation, etc). Les itinéraires techniques n'ayant pas été communiqués précisément à ce jour, seuls les stocks de carbone sont estimés dans la présente étude et la séquestration potentielle selon différents scénarios. Selon les choix du porteur de projet et des reboiseurs et les surfaces communiquées (avec localisation des parcelles), l'estimation *ex ante* de la séquestration totale sera effectuée au moment de la rédaction du PDD.

Contenu de l'étude

Cette étude présente donc le potentiel de chaque type de boisement et la méthode à suivre pour le MRV des stocks de carbone du projet. Elle est basée sur un inventaire biomasse qui a été effectué lors d'une mission dans la zone du projet de deux experts d'ONFI en mai 2014 pendant laquelle les équipes du projet ont également été formées aux méthodes de MRV (Mesure Rapport Vérification) d'un projet carbone.

Objectifs

Ce rapport concerne donc les estimations *ex-ante* des stocks de carbone des deux reboisements décrits ci-dessus, une partie desquels sera comptabilisée dans le cadre du document de projet². Ces estimations sont fondées sur des informations locales existantes (bibliographie et inventaire) pour les populations présentant des caractéristiques similaires à celles proposées dans le projet. Elles devront être revues lors des périodes de vérification (*ex post*) avec des mesures directes sur les boisements inclus dans le projet. Les méthodes à adopter sont décrites dans ce document et ont fait l'objet d'une formation des équipes de projet.

Les objectifs spécifiques de ce travail sont (i) d'estimer (*ex-ante*) les stocks de carbone dans la biomasse aérienne et la biomasse souterraine des deux activités de reboisement : Plantations et Mise en défens de savanes ; (ii) Simuler différents scénarios d'aménagement des plantations afin de déterminer le(s) scénario(s) optimaux en termes de production de biomasse et capture de CO₂ ; (iii) établir le protocole de suivi des stocks carbone qui permettra l'estimation *ex-post* des stocks de carbone du projet.

Ce document correspond au livrable n°4 de la convention ONFI et WWF : Rapport sur les estimations de stocks de carbone futurs. Cette étude a été financée par le CBFF mais n'engage que les auteurs par son contenu.

² Les reboisements qui seront comptabilisés dans la première version du PDD dépendent des données qui seront transmises, notamment sur la localisation des parcelles qui est liée aux accords avec les ayants droits acquis au moment de la rédaction du document prévue pour novembre 2014.

Méthodologie

Afin de déterminer les stocks de carbone des activités de reboisement proposées dans le cadre du projet REDD+ Luki, un travail séquentiel a été fait, comprenant les étapes suivantes :

- Révision de bibliographie ;
- Planification de l'inventaire ;
- Formation des équipes d'inventaire ;
- Réalisation de l'inventaire ;
- Traitement et analyse des données.

Révision de bibliographie

La révision de bibliographie a été réalisée pour identifier les informations locales existantes sur les stocks de carbone. À cet égard, deux études ont été identifiées :

- en premier lieu le travail de Bernhard-Reversat *et al.* 1993 dans lequel des équations de Biomasse aérienne pour *Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis* au Congo ont été établies ainsi que la relation biomasse aérienne : biomasse souterrain et des informations sur la productivité desdites espèces ;
- et d'autre part, le mémoire de stage de Maloti (2012), qui a étudié la composition et la structure de la végétation résultant de la mise en défens des savanes dans le cadre d'un projet précédent autour de la RBL.

Planification de l'inventaire

Compte tenu de la revue de bibliographie, un inventaire forestier a été planifié afin de collecter et compléter l'information existante. La planification comprend :

- **Délimitation et stratification de la population d'intérêt**
La population d'intérêt est constituée de plantations d'*Acacia* (*mangium*, *auriculiformis* et l'hybride des deux) et de la régénération forestière naturelle résultant de la mise en défens de savane.
La stratification de la population permet de regrouper la population en zones homogènes en termes de stock de carbone, cela permet de réduire l'effort d'échantillonnage et de réduire ainsi les coûts. La stratification est effectuée en prenant compte divers facteurs. Dans ce cas particulier, pour chaque population d'intérêt les facteurs sont les suivants : l'âge et la densité des plantations (les différences de séquestration entre espèces n'étant pas significatives dans le cas présent, cf. section résultats).

■ Sélection des compartiments carbone

Dans le cadre de projet Luki, le carbone stocké dans la biomasse aérienne et la biomasse souterraine seront considérés, il est estimé que ces deux compartiments couvrent au moins 80% de la quantité totale de carbone dans ces écosystèmes.

■ Conception du cadre d'échantillonnage

Le tableau ci-dessous décrit le cadre d'échantillonnage pour l'estimation *ex-post* des stocks carbone séquestrés par les activités de projet proposées :

Variable	Description
Type d'échantillonnage	Aléatoire stratifié
Taille d'échantillonnage	Déterminée en fonction de la variabilité des données et l'erreur attendue
Taille et forme de placettes	Placettes circulaires de 200 m ²
Erreur d'échantillonnage maximale	10%
Niveau de confiance	95%

La taille d'échantillonnage nécessaire pour le suivi des stocks carbone du projet Luki est estimée à partir des données collectées pendant la mission d'ONFI en utilisant la procédure de « allocation optimale » du Forestry Handbook (Wenger, 1984). Cette méthode a été présentée lors de la formation au MRV et il est recommandé de la respecter pour le suivi carbone du projet. Des informations précises sur la quantité de sites de plantations et les itinéraires techniques sont nécessaires pour effectuer le calcul.

$$n = \left(\frac{t}{E}\right)^2 \left[\sum_{h=1}^L W_h S_h \sqrt{c_h} \right] \left[\sum_{h=1}^L W_h S_h / \sqrt{c_h} \right]$$

n : taille d'échantillon requise, L : numero de strates, t : valeur de la statistique t , E : erreur admissible, $W_h = Nh/N$, S_h : écart type du strate h , c_h : coût de l'unité d'échantillonnage dans le strate h .

■ Sélection des méthodes pour l'estimation des stocks de carbone

En raison de l'information locale et des modèles allométriques existants pour les espèces d'intérêt, la méthode d'estimation sera à base d'équations allométriques, comme décrit dans l'outil méthodologique du MDP pour l'estimation de stocks de carbone et changement de stocks de carbone d'arbres et arbustes en projets de boisement/reboisement.³

Les équations allométriques sélectionnées sont les suivantes :

espèce	équation	source
<i>Acacia mangium</i>	$b_t = 0,000357 * C^3 + 19,2$ $b_f = 0,0000269 * C^3 + 0,25$	Bernhard-Reversat et al. 1993

³ AR-TOOL14. Methodological tool: Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities
Version 03.0.0

<i>Acacia auriculiformis</i>	$b_t = 0,000416 * C^3 + 11,22$ $b_f = 0,0000202 * C^3 + 2,36$	Bernhard-Reversat et al. 1993
Régénération Naturelle	$b_T = 0,1 * DHP^{1,916} * H^{0,74}$	Malimbwi et al. (1994) ⁴

Dans ce tableau : b_t = biomasse du tronc (Kg /arb) ; b_f = biomasse de feuilles (Kg /arb) ; C= circonférence (cm) ; DHP = diamètre à la hauteur de poitrine (cm) et H= hauteur total de l'arbre (m) ; b_T = biomasse totale (Kg /arb).

Il est à noter que même si les équations pour les deux espèces d'Acacia sont locales, elles ont été ajustées avec un petit échantillon de 8 individus par espèce, il est donc nécessaire de réviser et de compléter cette étude au moment de la vérification.

Le tableau ci-dessous présente d'autres paramètres nécessaires pour l'estimation ex-ante des stocks de carbone.

Paramètre	Valaur	source
root/shoot ratio <i>A. mangium</i>	18,9	Bernhard-Reversat et al. 1993
root/shoot ratio <i>A. auriculiformis</i>	15,2	Bernhard-Reversat et al. 1993
Fraction de carbone	0,5	GIEC, 2003
Relation C : CO2	3,667	

■ Elaboration des protocoles de mesure sur terrain

Une fois déterminé le cadre d'échantillonnage et la méthode d'estimation, un protocole pour la collecte d'informations sur le terrain est développé. Ces protocoles sont en annexe 1.

Formation des équipes d'inventaire

Afin de réaliser l'inventaire pour compléter les estimations *ex-ante* et de permettre aux équipes d'assurer le suivi des stocks de carbone lors des périodes de vérification du projet, une formation auprès des personnes qui pourront être sollicitées a été effectuée du 6 au 13 mai 2014 à Boma. Cette formation comprend une partie théorique et une partie pratique et a été assurée par deux experts d'ONFI, Danny Torres et Marie Nourtier.

Les sujets suivants sont abordés :

- Le contexte des projets « carbone forestier »
- Le fonctionnement du MRV (Monitoring, Notification et Vérification) ;
- La théorie des inventaires forestiers et la mesure sur le terrain ;
- Dimensionnement de l'inventaire et choix de l'échantillonnage ;
- La théorie de la mesure sur le terrain ;
- Le traitement des données ;
- Calculs des stocks de carbone et les équations allométriques ;

En outre, les experts d'ONFI ont accompagné le démarrage des activités d'inventaire sur le terrain, et visité différents sites ayant des activités similaires aux activités proposées dans le cadre du projet Luki

⁴ Equation utilisé par Maloti (2012) pour déterminer la biomasse totale de la végétation de savanes mises en défens en le Bas Congo

(plantations d'Acacias effectuées dans le cadre des projets précédents du WWF autour de la RBL, les mises en défens de savanes ayant été inaccessibles à cette période pour des mesures).

Réalisation de l'inventaire

L'inventaire a démarré le 9 mai 2014 avec deux équipes de 4 personnes chacune. L'inventaire s'est déroulé dans les anciennes plantations d'Acacias et dans les parcelles mise en défens. Ainsi, les équipes se sont formées à l'ensemble des mesures nécessaires en participant directement à un inventaire et à son organisation quotidienne. De plus, cela a permis de récolter des données sur la séquestration de ce type de boisement dans la zone. Ces données pourront être facilement utilisées pour l'estimation *ex-ante* de la séquestration de carbone des activités du projet car elles ont été collectées dans des reboisements similaires à ceux qui seront pris en compte dans le PDD et effectués dans la même zone géographique. Certains des reboisements visités pendant la mission, éligibles aux conditions du standard (la surface minimale et l'occupation du sol 10 ans avant la plantation seront les critères principaux⁵), seront intégrés au PDD.



Les activités d'inventaire ont été réalisées conformément aux dispositions des protocoles trouvés dans l'annexe 1, lesquels ont été présentés pendant la formation théorique.

Traitement et analyse des données

Selon la méthode d'inventaire proposé, la saisie de données de terrain est effectuée par les chefs d'équipes, qui ont été formés à cet effet lors de la mission sous le contrôle d'ONF International pour assurer la qualité du travail. Le traitement des données se fait automatiquement à l'aide d'un outil créé et adapté au projet par ONF International. Cet outil a été développé avec le logiciel Excel et est paramétré en utilisant les équations allométriques décrites ci-dessus. Il a été présenté lors de la

⁵ Cf. le rapport sur la localisation des boisements pour ce projet (ONFI, 2013)

formation et les équipes se sont entraînées à son utilisation. Le résultat obtenu est la densité de carbone stocké par hectare et par strate, ainsi qu'une estimation de la croissance moyenne en termes de CO₂ par hectare et par an.

Résultats

Caractéristiques générales des boisements

Végétation résultant de la mise en défens des savanes

La mise en défens des savanes anthropiques est effectuée pour y éviter les fréquents feux de brousse et permettre la régénération de la végétation forestière sensible au passage du feu.

Dans le cadre du « Projet d'Appui à la Sécurité Alimentaire » (PAPASA), 350 ha de forêt ont été mis en défens en 2008 dans trois placettes différentes au niveau des villages de Manzonzi (200 ha), de Kinluangu (100 ha) et de Kifulu (50 ha). En 2010, WWF a procédé à l'ouverture de layons de longueur variable pour servir aux inventaires systématiques de ces placettes. En se basant sur les données de ces layons, Maloti (2012) a réalisé une première analyse de la composition et la structure de la végétation dans la savane de Manzonzi et une deuxième campagne d'inventaire a été réalisée en 2014 dans le cadre de l'inventaire pour les estimations *ex-ante* du projet Luki.

D'après Maloti (2012), trois ans après la mise en place de la mise en défens de cette savane, une amélioration de la composition et la structure de la végétation a été démontrée. Particulièrement en termes de stock carbone, les résultats révèlent un stock de carbone moyen de 14,4 tC/ha (52,8 tCO₂e/ha) après 3 ans. Cela correspond à une moyenne de séquestration du carbone de 17,6 tCO₂e/ha/an.

Reboisement par plantation d'Acacia

Autour de la réserve de Luki, plusieurs paysans ont bénéficié d'aides pour mettre en place des reboisements lors de précédents projets. Avec d'autres activités complémentaires proposées, ces reboisements avaient pour objectifs (i) de diversifier les activités des paysans afin d'augmenter leurs revenus et leur résilience par rapport aux imprévus et (ii) d'augmenter les surfaces boisées par l'introduction de micro-boisements d'essences à croissance rapide permettant également la production de charbon de bois durable. Les boisements de certains fermiers sont constitués généralement d'*Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis* ou de l'hybride entre ces deux espèces.

Dans le cadre du projet Luki, ces boisements seront encouragés à plus grande échelle. En effet, 1 000 ha de nouveaux boisements sont planifiés. Pour cette raison, l'inventaire forestier a porté sur les parcelles de reboisement existantes issues des précédents projets afin d'avoir des informations les plus proches aux conditions du projet.

Pendant ce premier exercice d'inventaire, cinq sites ont été visités, avec des plantations entre 4 et 7 ans. 17 placettes temporaires ont été établies et cinq strates définies en fonction de la densité de plantation et de l'âge. L'espèce n'est pas utilisée comme critère de stratification pour deux raisons : premièrement, la croissance et l'allométrie des espèces étudiées sont très similaires et deuxièmement, même si les espèces ont été identifiées pendant la mesure des arbres, pour certaines placettes, une telle distinction fut difficile, notamment entre *A. auriculiformis* et l'hybride *A. auriculiformis* x *A. mangium*.

Le tableau ci-dessous présente un résumé des caractéristiques dendrométriques des placettes.

Placette	Emplacement	Espèce	Âge	DHP (cm)	G (m ² /ha)	N (arb/ha)	Bt(Mg/ha)	CO ₂ (Mg/ha/an)
A02	Manterne	Hydrinde	4,5	12,4	13,7	1050,0	49	20,0
A03	Kinkudu	<i>A. mangium</i>	4,5	13,6	14,6	950,0	51	21,0
A04	Kinkudu	<i>A. auriculiformis</i>	5,5	10,8	12,1	1000,0	45	14,9
A05	Kinkudu	Hybride	6,5	15,2	45,2	2050,0	209	59,1
A06	Kinzau-Mvuete	<i>A. mangium</i>	3,5	8,0	7,8	1150,0	39	20,6
A07	Kinzau-Mvuete	<i>A. mangium</i>	4,5	8,6	9,8	1450,0	45	18,5
A08	Kinzau-Mvuete	<i>A. mangium</i>	3,5	9,9	6,7	850,0	27	14,2
A09	Kieya lala	<i>A. mangium</i>	4,5	12,1	13,3	1050,0	48	19,7
B01	Manterne	<i>A. mangium</i>	5,5	10,0	14,7	1750,0	53	17,9
B02	Manterne	<i>A. auriculiformis</i>	4,5	12,0	16,2	1250,0	59	24,3
B03	Kinkudu	<i>A. auriculiformis</i>	3,5	11,3	11,8	1000,0	44	23,1
B04	Kinkudu	<i>A. mangium</i>	5,5	12,4	16,0	1100,0	60	20,1
B05	Kinkudu	<i>A. mangium</i>	5,5	11,9	15,5	1150,0	56	18,9
B06	Kinzau-Mvuete	<i>A. mangium</i>	4,5	9,2	12,8	1550,0	55	22,7
B07	Kinzau-Mvuete	<i>A. auriculiformis</i>	4,5	9,5	17,2	1900,0	73	29,8
B08	Qikasa-makuala	<i>A. mangium</i>	4,5	11,8	17,5	1400,0	64	26,2
B09	Qikasa-vubu	<i>A. mangium</i>	4,5	12,6	19,1	1200,0	69	28,2

Dans ce tableau : DHP = diamètre à la hauteur de poitrine (130 cm) G= surface terrière (m²/ha) ; N= nombre d'arbres par hectare; b_T = biomasse totale (Kg /arb)

Les plantations sont relativement jeunes, avec un âge maximum de 7 ans. Les pratiques sylvicoles sont minimales, certaines plantations ne sont pas entretenues par des sarclages, et aucune n'a d'éclaircies ni d'élague. Pourtant, le développement des arbres semble correct, principalement en raison de la qualité des sites. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons réalisé une analyse de qualité de station, en utilisant la méthode d'indice de fertilité à partir du modèle de Torres (2007)⁶. Les résultats par strate de cette analyse sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Strate	n	B _T (Mg/ha)	N (arb/ha)	DHP (cm)	H _d (m)	SI (m)	CS	CO ₂ (Mg/ha/an)	Age
1 (500-999 arb/ha et 3-5 ans)	2	39	900	12	17	20	2	18	4
2 (1000-1499 arb/ha et 3-5 ans)	8	52	1 194	11	18	22	1	23	4
3 (1000-1499 arb/ha et 5-6 ans)	3	54	1 083	12	20	22	1	18	5
4 (1499-2100 arb/ha et 4-5 ans)	2	64	1 725	9				26	4
5 (1499-2100 arb/ha et 5-7 ans)	2	131	1 900	13	28	29	1	38	6

Dans ce tableau : n= nombre de placettes d'échantillonnage, B_T = Biomasse totale (aérienne et souterraine), N : nombre d'arbres par hectare, DHP = diamètre à la hauteur de poitrine (130 cm) H_d= hauteur moyenne d'arbres dominants (hauteur moyenne des 150 arbres avec le plus grand diamètre par hectare= 3 par placette), SI= Index de fertilité, c'est-à-dire la hauteur moyenne des arbres dominants à un âge de référence (6 ans dans ce cas), CS = classe de fertilité ; b_T = biomasse totale (Kg /arb)

Selon cette classification, ces sites ont un fort potentiel de production pour les espèces étudiées, car ils se trouvent entre les catégories de fertilité moyenne à haute (avec une production de biomasse entre 100 et 138 Mg/ha à six ans dans la classe moyenne et plus de 138 Mg/ha à six ans pour la classe haute). Le stock de biomasse dans ces plantations peut atteindre 130 Mg/ha et elles peuvent capturer

⁶ Torres, D. and del Valle, J. 2007. Growth and yield modelling of *Acacia mangium* in Colombia. New Forests. 34: 293-305.

jusqu'à 38 Mg de CO₂/ha/an. Cependant, ces bons résultats sont attendus lorsqu'une densité élevée de plantation est maintenue.

En effet, selon ces résultats, il peut être constaté qu'il existe une haute variabilité dans les pratiques sylvicoles suivies, notamment en ce qui concerne la densité de plantation, laquelle varie entre 850 et 2050 arb/ha, ce qui affecte directement les stocks de carbone, et de manière générale, la quantité et qualité des produits attendus. Il est conseillé de conserver des densités élevées (> 1500 arb/ha) lorsque l'objectif est la production de bois de feu (ou charbon), de la pâte à papier ou juste la séquestration carbone, les densités moyennes (800-1500 arb/ha) pour la production combinée de bois d'œuvre et bois de feu ou pâte à papier, et de faibles densités (< 800 arb/ha) pour les systèmes agro-sylvicoles.

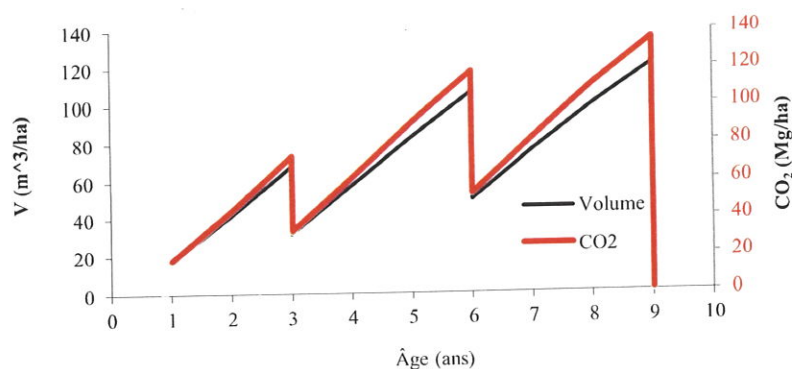
Concernant les itinéraires techniques, un forestier peut appliquer diverses techniques sylvicoles afin de diversifier ses produits et de faire un usage optimal des ressources (principalement du sol, de l'eau et la lumière du soleil). Par exemple, il est possible de commencer une plantation avec une haute densité, de réaliser des éclaircies afin d'enlever les petits arbres ou les arbres malades, lesquels peuvent être utilisés comme bois de feu ou pour la production de pâte à papier. Ces éclaircies peuvent se faire à plusieurs reprises, de manière à laisser les meilleurs arbres pour la fin de la rotation et de les utiliser comme bois d'œuvre. D'autre part, il est possible combiner l'activité sylvicole avec des cultures agricoles ou l'élevage du bétail, dans ce cas, une densité initiale basse est nécessaire pour que la lumière puisse arriver au sous-bois et ainsi favoriser la croissance des autres cultures. Dans la section ci-dessous, quelques scénarios d'aménagement forestier ainsi que une estimation de la production sont donnés.

Scénarios d'aménagement de plantations

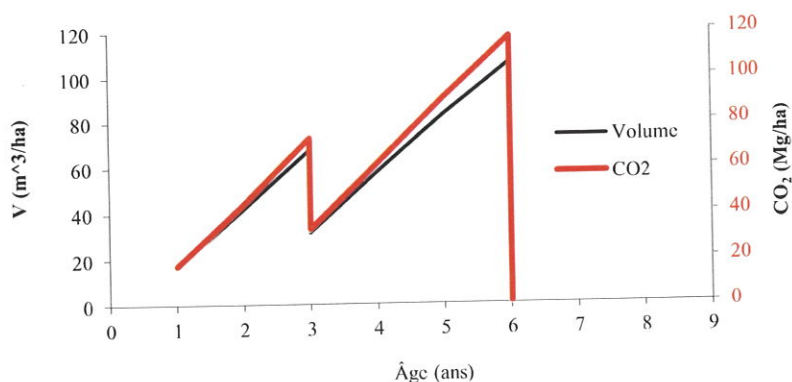
Comme constaté ci-dessus, les sites autour de la réserve de Luki sont tout à fait appropriés pour le développement de projets avec les espèces *Acacia mangium*, *A. auriculiformis* et l'hybride de ces deux espèces. En conséquence, de multiples alternatives d'aménagement sont possibles. L'idée ici c'est de donner trois scénarios alternatifs basés sur les produits attendus. L'estimation de ces produits, en termes de volume et CO₂ capturé, est effectuée à partir de la simulation de la croissance des plantations en utilisant le modèle de croissance de Torres (2007).

Scénario 1 : Le but dans ce scénario est la production de bois d'œuvre et bois de feu ainsi que la capture de CO₂. Pour cela il est proposé : une plantation de 1111 arb/ha, avec un arrangement spatial de 3*3m, deux éclaircies de 40% de la surface terrière à 3 et 6 ans respectivement et une coupe à blanc à 9 ans. Avec cet aménagement il est attendu une production de 35 m³ ou 5,8 tonnes de charbon (40 Mg CO₂) dans la première éclaircie, 55 m³ ou 7,59⁷ tonnes de charbon (64 Mg CO₂) dans la deuxième et de 120 m³ ou 19,8 tonne de charbon (134 Mg CO₂) au moment de la coupe à blanc, c'est-à-dire une production moyenne de 23,3 m³/ha/an (26 MG de CO₂/ha/an). La figure ci-dessous illustre la croissance d'une plantation sous ce type d'aménagement

⁷ La FAO, dans ses statistiques (FAOSTT), utilise un facteur de conversion de 165 Kg de charbon de bois pour un mètre cube de bois de charbonnage.

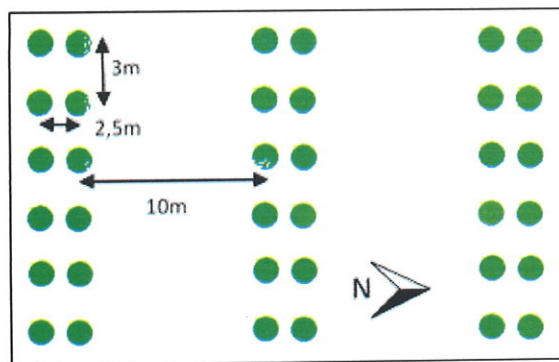


Scenario 2 : Le but dans ce scenario est la production de bois de feu et la capture de CO₂. Pour cela il est proposé : une plantation de 1111 arb/ha, avec un arrangement spatial de 3*3m, avec une éclaircie de 40% de la surface terrière à 3 ans et une coupe à blanc à 6 ans. Avec cet aménagement, il est attendu une production de 35 m³ ou 5,8 tonnes de charbon (40 Mg CO₂) dans l'éclaircie et de 105 m³ ou 17,3 tonnes de charbon (116 Mg CO₂) au moment de la coupe à blanc, c'est-à-dire une production moyenne de 23,3 m³/ha/an (26 Mg de CO₂/ha/an). La figure ci-dessous illustre la croissance d'une plantation sous ce type d'aménagement.

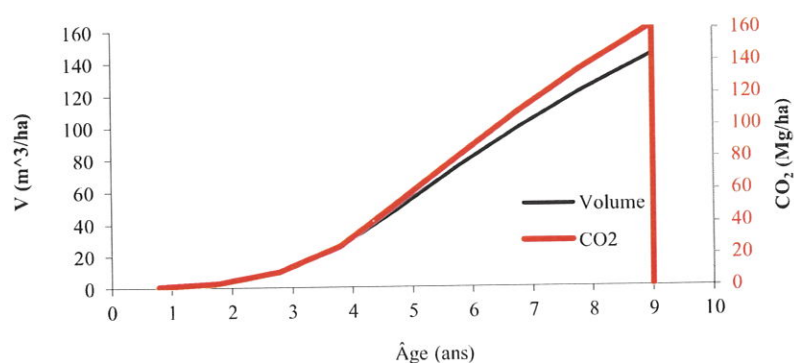


Scenario 3 : Le but dans ce scenario est le développement d'activités agrosylvicoles pour la production, d'une part, de bois de feu et la capture de CO₂ à partir de la forêt, et d'autre part, la production agricole ou l'élevage de bétail dans le sous-bois. Pour cela il est proposé : une plantation de 500 arb/ha, avec un arrangement spatial de 2*10 m, 25*8 ou 2,5*3*10m (deux rangées de 2,5*3m chaque 10 m comme indiqué dans la figure ci-dessous pour permettre une culture permanente dans la parcelle en association avec les Acacias) sans éclaircies et une coupe à blanc à 9 ans. Avec cet aménagement il est attendu une production de 140 m³ ou 23 tonnes de charbon (160 Mg CO₂) au moment de la coupe à blanc, c'est-à-dire une production moyenne de 15,5 m³/ha/an (17,8 Mg de CO₂/ha/an). Il est important de noter que sous un arrangement comme celui indiqué dans la figure ci-dessous, il est nécessaire que l'orientation des lignes de plantation soit est-ouest afin d'éviter l'ombre des arbres sur les autres cultures.





La figure ci-dessous illustre la croissance d'une plantation sous ce type d'aménagement.



Le tableau résume les caractéristiques et résultats de ces trois scenarios :

Scenario	Variable	Valeurs	Résultats
1	Densité de plantation	1111 (arb/ha)	
	Arrangement spatial	3*3m	
	éclaircies	2 (3 et 6 ans) 40% de G	1) 35 m³ ≈ 5,8 t charbon (40 Mg CO₂) 2) 55 m³ ≈ 7,6 t charbon (64 Mg CO₂)
	Coupe à blanc	9 ans	120 m³ ≈ 19,8 t charbon (134 Mg CO₂)
	Croissance		23,3m³ (26 Mg de CO₂) /ha/an
2	Densité de plantation	1111 (arb/ha)	
	Arrangement spatial	3*3m	
	éclaircies	1 (3 ans) 40% de G	35 m³ ≈ 5,8 t charbon (40 Mg CO₂)
	Coupe à blanc	6 ans	105 m³ ≈ 17,3 t charbon (116 Mg CO₂)
	Croissance		23,3m³ (26 Mg de CO₂) /ha/an
3	Densité de plantation	500 (arb/ha)	
	Arrangement spatial	2*10; 2,5* 8 ou 2,5*3*10m	
	éclaircies	-	-
	Coupe à blanc	9 ans	140 m³ ≈ 23 t charbon (160 Mg CO₂)
	Croissance		15,5m³ (17,8 Mg de CO₂) /ha/an

Conclusions et recommandations

Potentiel de la mise en défens des savanes

La régénération naturelle assistée, résultant de la mise en défens de savane représente une véritable opportunité pour la récupération des zones dégradées à un bas prix. Seulement avec la création de pare-feu, la régénération végétale peut stocker plus de 50 Mg de CO₂/ha en 3 ans, contre 14 Mg de CO₂/ha de la savane soumise aux feux. Le taux de capture de carbone dans une savane mise en défens est de **17,6 tCO₂e/ha/an** (Maloti 2012) contre une séquestration quasiment nulle en savane. Il faut noter qu'avec le vieillissement de la végétation, le taux de séquestration diminue au fur et à mesure. Toutefois la séquestration totale augmente en permanence jusqu'au climax de l'écosystème. L'évolution des taux de séquestration sera évaluée lors des périodes de MRV quand de nouveaux inventaires seront réalisés.

Ces résultats peuvent être améliorés avec l'utilisation des techniques sylvicoles additionnelles, comme la sélection et l'enrichissement en espèces d'intérêt, ce qui permettrait, en plus du gain en stockage de carbone, la production durable de bois ou de produits non ligneux mais augmenterait le coût du projet.

Potentiel des plantations d'Acacias selon les différents scénarios

Les espèces plantées objet de cette étude, comprenant l'*Acacia mangium*, l'*Acacia auriculiformis* et l'hybride entre ces deux espèces, ne présentent pas une différence significative en termes de croissance et production de biomasse, bien que la littérature rapporte que l'hybride *A. mangium* x *A. auriculiformis* est plus vigoureux et adaptable que les deux espèces parentales (Newaz *et al* 2005⁸). Cependant il est nécessaire de souligner qu'il peut y avoir des erreurs liées à l'identification des espèces les différentes espèces étant mélangées au sein des placettes et la différenciation étant parfois difficile.

La capture de CO₂ par ces plantations se trouve entre 18 et 38 Mg/ha/an, cette variabilité est liée principalement à la densité de plantation. Ainsi, avec une occupation optimale des sites de plantation, et un aménagement forestier adéquat il est possible d'atteindre un taux de capture de 40 Mg/ha/an.

D'après l'estimation de la qualité des stations, les sites autour de la réserve de Luki présentent conditions optimales pour le développement des plantations étudiées, car leur classification est parmi les plus élevés. En comparaison, Torres et del Valle (2007) rapportent une capture allant jusqu'à 23 Mg/ha/an dans les meilleurs sites en Colombie. Le tableau ci-dessous présente un comparatif de croissance à travers le monde.

espèce	Growth	Site	source
Hybride	20-50 m ³ /ha/an	Bangladesh	Newaz et al 2005 ⁵
A.mangium	15-37 m ³ /ha/an	Bangladesh	Newaz et Mustafa 2004 ⁹
A.mangium	45 m ³ /ha/an	Brésil	Rodrigues de souza et al 2004 ¹⁰
A hybride	0,2-40,5 m ³ /ha/an	Vietnam	Sein et Mitlöhner 2011 ¹¹

⁸Shah Newaz, M., Kamaluddin, M. and Manzoor R. 2005. Growth and yield prediction Models for hybrid Acacia (*A. auriculiformis* x *A. mangium*) Growth in the plantations of Bangladesh. Pakistan Journal of Biological Sciences. 8 (8) 1137-1141.

⁹Newaz S, Millat-e-Mustafa M (2004) Growth and yield prediction models for Acacia mangium grown in the plantations of the central region of Bangladesh. New Forests 27(1):81-87

¹⁰Rodrigues de Sousa CB, de Acevedo LM, de Lima RMB (2004) Comportamento de Acacia mangium e de clones de Eucalyptus grandis · Eucalyptus urophylla em plantios do amao`nia Central. Sci Forestalis 65:95-101

¹¹ Sein, Ch Ch., Mitlöhner, R., 2011. Acacia hybrid: ecology and silviculture. CIFOR, Bogor, Indonesia.

A.mangium	12-35 m ³ /ha/an; 5-23 Mg/ha/an	Colombie	Torres et del Valle. 2007 ¹²
A.auriculiformis	14,1 Mg/ha/an	Congo	Bernhard-Reversat et al 1993 ¹³
A.mangium	16 Mg/ha/an	Congo	Bernhard-Reversat et al 1993 ¹⁰
A. mangium, Aauriculiformis, A. hybride	18-38 Mg/ha/an 20-46 m³/ha/an	RDC	Cette étude

Il est nécessaire de souligner que, au regard de la stratégie du projet, la possible incitation financière résultant des réductions d'émissions (crédits carbone) est marginale par rapport aux prestations reçues par les produits attendus de la forêt.¹⁴ Par conséquent, les scénarios proposés ne favorisent pas une capture de carbone maximale (qui serait obtenue avec des densités de plantation de plus de 1800 arb/ha voire 2500), mais un équilibre qui permet la production de bois, bois de chauffage et/ou d'autres produits agricoles et d'élevage.

Document de projet et suivi MRV

L'estimation de la taille d'échantillonnage pour le suivi global du projet sera calculée une fois que les itinéraires techniques choisis par les participants au projet seront communiqués. Le plan de MRV sera présenté dans le PDD à soumettre au Gold Standard. A chaque émission de crédit souhaitée, un inventaire dans les plantations selon la méthode présentée dans ce rapport et lors de la formation devra être effectué, les résultats envoyés au standard et une mission de vérification sera alors mandatée par le standard pour valider le rapport envoyé au préalable et l'émission de crédits.



¹² Torres, D. and del Valle, I. 2007. Growth and yield of Acacia mangium in Colombia. New Forests. 34:293–305

¹³ Bernhard-Reversat, F., Diangana, D. and Tsatsa, M. 1993. Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'Acacia mangium et A. auriculiformis au Congo. Bois et forêts des tropics. N. 238 (35-34)

¹⁴ Le calcul des bénéfices issus des productions sera présenté dans une prochaine étude sur la définition des activités de projet.

Bibliographie

- Bernhard-Reversat, F., Diangana, D. and Tsatsa, M. 1993. Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et *A. auriculiformis* au Congo. Bois et forêts des tropics. N. 238 (35-34)
- Maloti, J. 2012. Effets de la mise en défens des savanes soumises au régime des feux sur la composition et la structure de leur végétation : cas de la savane de Manzonzi (Bas Congo). Mémoire. ERAIFT. Kinshasa
- Newaz, M., Kamaluddin, M. and Manzoor R. 2005. Growth and yield prediction Models for hybrid *Acacia* (*A. auriculiformis* x *A. mangium*) Growth in the plantations of Bangladesh. Pakistan Journal of Biological Sciences. 8 (8) 1137-1141.
- Newaz S, Millat-e-Mustafa M (2004) Growth and yield prediction models for *Acacia mangium* grown in the plantations of the central region of Bangladesh. New Forests 27(1):81–87
- Rodrigues de Sousa CB, de Acevedo LM, de Lima RMB (2004) Comportamento de *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* • *Eucalyptus urophylla* em plantios do amazonia Central. Sci Forestalis 65:95–101
- Sein, Ch Ch., Mitlöhner, R., 2011. *Acacia* hybrid: ecology and silviculture. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Torres, D. and del Valle, J. 2007. Growth and yield modelling of *Acacia mangium* in Colombia. New Forests. 34: 293-305.

Annexe 1 : Protocoles pour la collecte des données d'inventaire forestier

Délimitation des placettes pour la biomasse existante

Objectifs

1.	Déterminer à partir d'un point de référence dont les coordonnées sont connues, une placette circulaire de 15,96 m de diamètre (200 m ²) pour y déterminer la biomasse existante
2.	Délimiter la placette avec des cordes et piquets.

Remarques

1.	Ce protocole est attaché au Protocole de Mesure de la biomasse aérienne
2.	Le point de référence (centre de la placette) est fixé selon la précision du GPS (jusqu'à indiquer '0m' comme distance au but à atteindre).
3.	Compte tenu de la précision du GPS (0,001 minute en longitude ou latitude = 1m80 sur le terrain), il n'est pas approprié de relever le périmètre de la placette par GPS.

Etapes

1.	Le chef d'équipe conduit le groupe sur le terrain à l'emplacement du point de référence dont les coordonnées GPS sont reprises sur le formulaire F_Luki_01: « Inventaire de biomasse- Fiche de placettes ».
2.	Les assistants fixent dans le sol le piquet de référence
3.	Les assistants installent dans le centre de la placette un poteau de référence où est attachée une corde de 7,98 m de longueur
4.	Un assistant transporte l'extrémité de la corde, et en gardant l'horizontal, délimite le périmètre de la placette.
5.	Le mesureur s'assure de marquer tous les arbres dans la placette, en commençant par les arbres les plus éloignés du centre.



Inventaire Biomasse - Fiche de placettes F_Luki_01
Projet pilote REDD+ Luki.



F_Luki_01

Heure de début _____ Heure de fin _____

Groupement: _____ Chefferie : _____ Village: _____ Placette No:

Strate: _____ Surface placette: _____ m² Date: ____/____/____

Pente moyenne de la placette: _____

Chef d'équipe: _____ Auxiliaire de mesure: _____

Auxiliaires : _____

Coordonnées de la placette: GPS X: _____ Y: _____ Erreur Gps (±):
_____ m.

Instruments de Mesure:

Gps: _____ Boussole: _____ /préc. _____ ° (±) Ruban: _____ /préc. _____ mm (±)

Hypsomètre: _____ /préc. _____ cm (±)

Autres: _____

Croquis d'emplacement de la placette.

Mesure d'un arbre pour la biomasse existante

Objectifs

1.	Permettre le calcul de la biomasse et de la couverture boisée pour les arbres existants
2.	

Remarques

3.	
2.	

Étapes

1. Pour	Chaque tronc individuel de l'arbre dont le diamètre est > 5 cm à 1,30 m de la hauteur:
Répéter	1. Le mesureur annonce à haute voix le n° de l'arbre en ajoutant a, b, c, etc s'il a plusieurs troncs concernés
	2. Le mesureur donne si possible l'espèce de l'arbre mesuré.
	3. Le mesureur mesure le tronc de l'arbre à hauteur de 1,30 m soit en diamètre, soit en circonférence (mais en restant homogène pour l'ensemble des mesure).
2.	Le secrétaire note les informations dans les cases appropriées du formulaire F_Luki_02 : « Inventaire Biomasse - Fiche de relevé de terrain ».
3.	Le chef d'équipe contrôle que les données saisies par le secrétaire sont conformes à la réalité
4.	Le cas échéant, le chef d'équipe fait répéter la mesure de diamètre



Groupement: _____ Village: _____ Placette No:

Strate _____ Surface placette: _____ m² Date: ____/____/____ Chef d'équipe: _____