



FORAFAMA

**Appui à la gestion durable des forêts du bassin
du Congo et du bassin amazonien brésilien**
Composante 3 – Action 1 : développement de projets de
démonstration

**Lutte contre la déforestation et aménagement forestier
durable dans l'Etat du Mato Grosso – Municipalité de
Cotriguaçu**

Etude de faisabilité – Rapport provisoire

14/06/2013

ONF International

Introduction

Le projet FORAFAMA a pour objectif de favoriser l'intégration des politiques de gestion durable des forêts dans le futur mécanisme REDD en discussion au sein de la convention des nations unies sur le climat. Il se propose ainsi de promouvoir l'exploitation durable des ressources ligneuses dans le cadre d'aménagements forestiers compatibles avec la préservation des forêts et de leurs stocks de carbone, grâce à la mise en œuvre de travaux analytiques, d'actions pilotes de démonstration et à l'échange d'expériences dans le bassin du Congo et dans le bassin Amazonien brésilien.

L'action 1 de la composante 3 du projet a pour objectif le développement de projets de démonstration à même d'illustrer de façon concrète le rôle que pourrait tenir l'exploitation forestière sous aménagement durable dans le mécanisme REDD.

Ces projets pilotes s'appuieront sur les travaux analytiques menés au niveau des composantes 1 (analyse comparative des divers modes de mise en valeur des espaces forestiers) et 2 (impact de la gestion forestière durable en tant qu'outil de réduction des émissions de GES du secteur forestier) du projet.

Les résultats dégagés par les projets pilotes feront l'objet d'exercices de capitalisation et diffusion auprès des acteurs privés susceptibles de porter ces projets ainsi que des administrations nationales en charge du développement des politiques nationales REDD (cf. actions des composantes 3 et 4).

Le CIFOR est le bénéficiaire de la subvention du FFEM et assure la coordination globale du projet. Afin de réaliser les activités prévues dans l'action 1 de la composante 3, le CIFOR a fait appel aux services du Consortium ONFI – TERE – FRM – CIRAD.

Au Brésil, le projet pilote retenu est situé dans la Municipalité de Cotriguaçu, Etat du Mato Grosso, à l'échelle de forêts privées. Le présent rapport présente les résultats obtenus grâce aux activités de recherche et d'étude mises en œuvre avec l'appui de Forafama.

Table des Matières

INTRODUCTION.....	0
INTRODUCTION.....	1
TABLE DES MATIERES.....	2
PRESENTATION DU PROJET ET DU PROGRAMME DE TRAVAIL APPUYE PAR FORAFAMA.....	3
LE PROJET ET L'APPUI DE FORAFAMA	3
LA METHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	4
<i>Analyse économique et financière</i>	4
<i>Développement méthodologique</i>	5
PRESENTATION DU PROJET ET DU PROGRAMME DE TRAVAIL APPUYE PAR FORAFAMA. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
LE PROJET ET L'APPUI DE FORAFAMA	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

Présentation du projet et du programme de travail appuyé par FORAFAMA

Le projet et l'appui de FORAFAMA

Entre 2000 et 2008, le taux moyen de déforestation dans la Municipalité de Cotriguaçu a été de 1.5%/an, supérieur au taux moyen (1.0%) de la région. Face à cette situation, la Municipalité de Cotriguaçu et l'Etat du Mato Grosso développent un projet pilote REDD+ pour l'ensemble de la Municipalité avec l'appui de plusieurs partenaires (dont ICV, TNC et ONFI).

Les actions soutenues par FORAFAMA, tout en s'inscrivant dans ce projet REDD+ Cotriguaçu, se concentreront sur la déforestation et dégradation forestière dans les propriétés privées, pour deux raisons principales :

1. Il s'y est déroulé 89% de la déforestation historique entre 2000 et 2008 ;
2. Ce sont dans ces propriétés que le potentiel d'aménagement forestier durable est le plus important

Or, du fait de plusieurs barrières d'ordre institutionnel, technique et économique, l'exploitation forestière est réalisée de façon non durable et se trouve de plus en plus menacée par la progression des activités d'élevage, elles même de bas niveau technologique et entraînant la dégradation des ressources en eau et sols.

Un des principaux objectifs du projet REDD+ Cotriguaçu est donc de développer une activité forestière viable à long terme basée sur l'aménagement forestier durable dans la Municipalité de Cotriguaçu, et d'enrayer le processus de conversion des forêts en pâturages pour l'élevage extensif.

A cette fin, le projet poursuivra plusieurs objectifs spécifiques :

1. Renforcer la gouvernance forestière et environnementale ;
2. Appuyer le développement d'un secteur forestier viable basé sur l'aménagement forestier durable ;
3. Appuyer le développement de filières d'élevage performantes au niveau technique économique et environnemental.

Les actions appuyées par FORAFAMA se concentreront sur :

- **Le développement d'une approche méthodologique permettant d'estimer les réductions d'émissions de GES obtenues par le projet ;**

La principale difficulté méthodologique du projet réside dans l'estimation des émissions liées à l'exploitation forestière, absolument nécessaire puisque le projet conduira à une augmentation des surfaces sous aménagement. En ce sens, la contribution principale attendue de FORAFAMA est la mise en place d'une méthodologie de suivi des émissions liées à l'exploitation forestière sous aménagement durable. Pour ce faire, on pourra s'appuyer sur les deux méthodologies VM0010 et VM0011 approuvées par le VCS en les complétant sur les éléments suivant, insuffisamment développés :

- prise en compte de l'impact des infrastructures d'exploitation ;
- dispositif de suivi des dégâts collatéraux d'exploitation ;
- dispositif de suivi de la récupération des zones perturbées par l'exploitation (infrastructures, trouées d'abattage).

Les travaux réalisés permettront ainsi de développer une approche méthodologique complète et de mettre en place des dispositifs d'estimation et suivi des paramètres de base de la méthodologie

(empreinte spatiale des infrastructures, dégâts collatéraux d'exploitation, déchets d'exploitation, taux de récupération des zones perturbées).

▪ **L'analyse financière du projet et en particulier comment les ressources générées par les crédits carbone pourraient être utilisées (répartition entre acteurs, modalités de financement).**

Cette analyse devra permettre en premier lieu de compléter et homogénéiser les données déjà disponibles afin d'estimer et comparer la rentabilité des principales alternatives d'usage du sol accessibles aux propriétaires :

- Exploitation forestière telle que pratiquée jusqu'à présent (scénario de référence) ;
- Exploitation forestière sous aménagement durable promue par le projet (scénario projet) ;
- Elevage extensif tel que pratiqué jusqu'à présent (scénario de référence) ;
- Elevage selon bonnes pratiques de durabilité promues par le projet (scénario projet).

Sur cette base, l'analyse économique et financière permettra de comparer le scénario de référence et le scénario projet, et d'estimer à quelles conditions le projet pourra être rentable pour le propriétaire, en particulier pour quel niveau de prix des crédits carbone.

Les activités menées par FORAFAMA seront ciblées sur une ou plusieurs propriétés privées pilotes prêtes à s'engager dans les actions du projet, tout en capitalisant les résultats obtenus sur ces cas pilotes à l'échelle de la Municipalité.

La méthodologie de travail

Analyse économique et financière

Evaluation des coûts d'opportunité des différentes alternatives d'usage du sol

On s'intéressera aux principaux usages du sol susceptibles d'être adoptés par les propriétaires privés :

- Exploitation forestière non durable : scénario « business as usual » dans la Municipalité Cotriguaçu ;
- Exploitation forestière durable : scénario de projet: aménagement sur une rotation de 25 ans et mise en œuvre de l'EFI, dans un objectif à terme de certification ;
- Elevage extensif : scénario « business as usual » dans la Municipalité Cotriguaçu ;
- Elevage respectant de bonnes pratiques de durabilité environnementale : scénario de projet (peut être différents systèmes d'élevage à étudier) ;

Tout en servant l'analyse de viabilité financière du projet REDD, l'évaluation des coûts d'opportunité sera également très utile aux décideurs politiques de la Municipalité et de l'Etat pour l'analyse coût/bénéfice des différentes options de politiques REDD+, et de la place que devrait tenir l'exploitation forestière sous aménagement durable dans la stratégie REDD+ du territoire.

On adoptera l'approche suivante :

- Compilation & analyse de la littérature existante
- Collecte de données sur le terrain (entretiens avec propriétaires)
- Analyses prospectives sur les marchés du bois, de la viande (=> hypothèses à tester dans une analyse de sensibilité)
- Construction des modèles de flux de revenus et dépenses par usage du sol
- Intégration dans les modèles des impacts de l'actualisation et de l'inflation: calcul de la VAN/ha pour chaque usage du sol
- Calculs du coût d'opportunité par tCO₂e en intégrant des données sur les stocks de carbone par usage du sol

- Analyse de sensibilité selon les hypothèses sur les futures évolutions des paramètres clé
- Construction d'une courbe de coûts d'opportunité

Evaluation de la viabilité financière du projet REDD

On appliquera un outil standard d'analyse financière, de type business plan, au cas du projet pilote REDD appuyé par FORAFAMA : passage des usages du sol « business as usual » aux usages du sol scénario projet (tels que définis ci-dessus).

Cette analyse permettra de préciser les conditions de viabilité financière du projet REDD (investissements nécessaires, sources de revenus, modalités de financement) et le rôle que pourrait jouer la finance carbone dans le développement de l'aménagement forestier durable dans la Municipalité et plus généralement l'Etat.

Pour élaborer le business plan on se basera sur :

- L'évaluation des coûts d'opportunité réalisée en amont ;
- L'estimation des coûts de mise en œuvre et transaction du projet REDD (données issues du travail méthodologique décrit ci-dessous et des retours d'expérience du Projet Cotriguaçu Sempre Verde) ;
- L'estimation des bénéfices carbone potentiels (données issues du travail méthodologique décrit ci-dessous).

L'ensemble de l'analyse économique et financière fera l'objet d'un rapport spécifique présentant une synthèse des résultats économiques et financiers et des conclusions/recommandations quant au développement du projet REDD et à la place de l'aménagement forestier durable dans les stratégies REDD+ du territoire.

Ces travaux seront réalisés par une équipe composée de :

- 1 binôme de stagiaires franco-brésilien basé à Cotriguaçu ;
- 1 expert REDD brésilien basé à ONFB ;
- 1 expert REDD basé à Paris, spécialiste de l'analyse économique et financière.

Développement méthodologique

Evaluation du scénario de référence

Le scénario de référence se compose de déforestation, liée à la conversion des forêts en pâturage pour l'élevage extensif, et de dégradation des forêts, liée à l'exploitation forestière.

On définira le scénario de référence de déforestation sur la base des données disponibles sur :

- Les taux de déforestation historique (surfaces déboisées annuellement) : on analysera la conformité des sources disponibles (cf. fiche PIN) avec les lignes directrices des méthodologies du VCS et recommandera des améliorations à apporter. Les données les plus fiables seront utilisées.
- Les émissions de carbone liées à la déforestation : on analysera la conformité des sources disponibles (cf. fiche PIN) avec les lignes directrices des méthodologies du VCS et recommandera des améliorations à apporter. Les données les plus fiables seront utilisées.

Les méthodologies REDD APD, AUMD et AUFD validées par le VCS peuvent être utilisées pour estimer le niveau d'émissions de référence liées à la déforestation.

On travaillera également à la définition d'un scénario de référence de dégradation liée à l'exploitation forestière non durable telle que réalisée jusqu'à présent dans la Municipalité. Pour ce faire on adoptera la démarche suivante :

1. Détermination du taux de dégradation historique (surfaces dégradées annuellement) : combinaison de données de télédétection et de sources d'information telles que les statistiques d'exploitation forestière et des enquêtes auprès des experts locaux et sur le terrain.
2. Détermination des émissions de carbone liées à la dégradation : certaines données existent (cf. fiche PIN) et pourront être complétées par des mesures de terrain supplémentaires si besoin.

Le scénario de référence sera donc basé sur les trajectoires historiques de déforestation et de dégradation des forêts.

Evaluation du scénario de projet

Le scénario de projet consiste en l'exploitation forestière sous aménagement durable et exploitation à faible impact.

On mettra au point une méthodologie de suivi et on réalisera des estimations initiales.

Le protocole de suivi sera réalisé de façon complémentaire avec le protocole de suivi du projet Cotriguaçu Sempre Verde (cf. fiche PIN), en incluant les paramètres clé permettant d'apprécier l'impact carbone de l'exploitation:

- volumes exploités
- emprise spatiale des infrastructures d'exploitation
- % de rémanents
- % de transformation et types de produits bois
- dégâts d'exploitation
- régénération après exploitation sur assiettes de coupe (stratification pistes débardage - trouées d'abattage - zones intactes)

On produira des estimations initiales sur la base d'une revue de la littérature, des données locales disponibles et de mesures de terrain complémentaires dans la mesure du possible.

Les coûts de suivi seront également évalués.

Elaboration d'un plan de MRV

Le plan de MRV découlera des deux étapes précédentes et précisera les modalités et paramètres de suivi de la déforestation et dégradation forestière dans la zone de référence et dans la zone de projet.

L'ensemble des travaux de développement méthodologique fera l'objet d'un rapport spécifique, présentant les résultats obtenus. Le protocole détaillé de suivi de l'exploitation forestière sera annexé au rapport.

Ces travaux seront réalisés par une équipe composée de :

- 1 stagiaires brésilien basé à Cotriguaçu ;
- 1 expert REDD brésilien basé à ONFB ;
- 1 expert REDD basé à Paris, spécialiste des méthodologies de projet REDD ;
- 1 expert télédétection/SIG basé à Paris ;
- 1 expert inventaire des stocks de carbone basé à Paris ;

Description du projet

Scénario de référence

Scénario de projet

L'échelle de l'étude

Cette étude a pour objectif d'analyser la faisabilité méthodologique et économique d'un projet REDD consistant à éviter la conversion en pâturages des forêts de propriétaires privés au moyen de leur valorisation via l'exploitation forestière sous plan d'aménagement durable.

L'étude est réalisée à l'échelle du massif forestier éligible à l'exploitation forestière sous aménagement durable dans la Municipalité de Cotriguaçu. Ses conclusions permettent d'ébaucher les bases de ce que pourrait être un programme sectoriel REDD pour le secteur forestier dans la Municipalité ayant pour objectif d'inciter les propriétaires forestiers privés à adopter l'aménagement durable. Un tel programme aurait vocation à s'intégrer dans un programme REDD juridictionnel mis en œuvre à l'échelle de la Municipalité de Cotriguaçu, aux côtés d'autres programmes ciblant les terres indigènes et les asentamentos.

Au niveau méthodologique, on se réfère ainsi principalement aux lignes directrices développées par le VCS pour les programmes REDD au niveau juridictionnel, complétées des éléments pertinents de certaines méthodologies de projets.

Scénarii possibles pour l'octroi des crédits aux programmes REDD juridictionnels

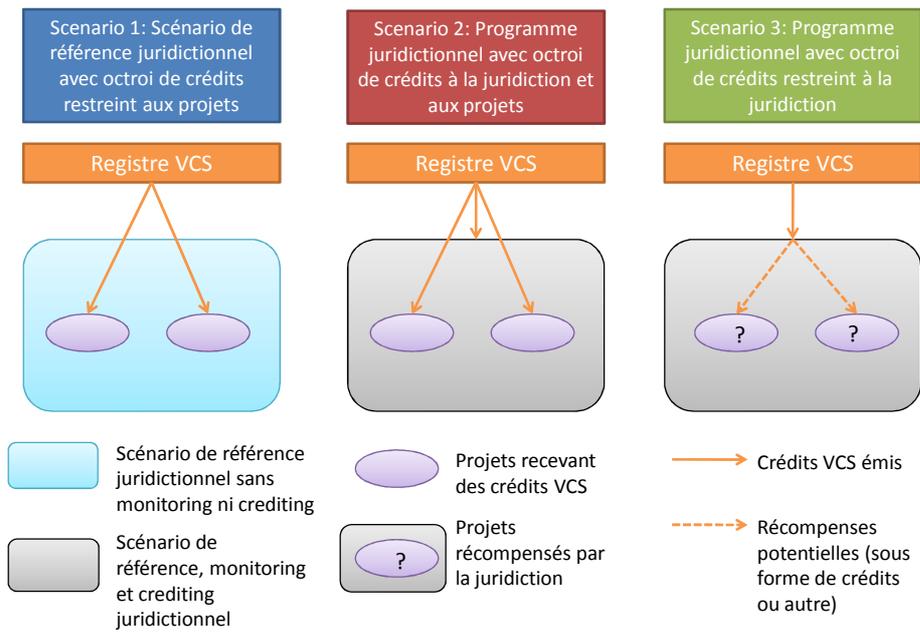


Figure 1 : scénarii possibles pour l'octroi des crédits aux programmes REDD juridictionnels (VCS)

Analyse économique et financière

Méthodologie employée

Sources d'information

Les données utilisées pour la réalisation de l'analyse ont été obtenues à partir de la révision de sources bibliographiques et principalement de la collecte de données auprès des principaux acteurs des secteurs étudiés dans la Municipalité de Cotriguaçu.

Données secondaires

Des informations sur les pratiques courantes des secteurs forestiers et d'élevage ont été obtenues par la consultation des travaux faits par des ONGS et bureaux d'études implantés dans la région. Pour l'exploitation forestière, les diagnostics du secteur faits par l'Institut Forestier Tropical (IFT) et la Fondation pour les Forêts Tropicales (FFT) ont été principalement utilisés. Pour le secteur de l'élevage le diagnostic fait par Agrosuisse a été consulté. Ces données secondaires ont ensuite été complétées par des données primaires collectées sur le terrain.

Pour l'analyse des pratiques du scénario de projet, faute d'exploitations de référence dans la région, les conditions et caractéristiques ont été définies après consultation de sources secondaires uniquement.

Des informations générales sur les niveaux de productions et prix ainsi que des possibles tendances des secteurs ont été obtenues des bases de données de l'Institut Brésilien de Géographie et Statistique (IBGE).

Données primaires

La collecte de données primaires a été réalisée sur le terrain pendant une mission de trois mois de juin à août 2012 dans la Municipalité de Cotriguaçu. Une première étape a permis de caractériser les pratiques des secteurs concernés et de prendre contact avec les principaux acteurs pour l'obtention des données recherchées. Après la définition du public cible de l'étude, un questionnaire a été élaboré spécifiquement pour chaque secteur. Ces questionnaires ont été structurés de façon à fournir les données nécessaires pour l'étape d'analyse économique et financière.

Les questionnaires sont structurés en trois parties :

- une première partie destinée à des questions générales sur le foncier (taille de l'exploitation, surface de réserve légale, quantité de bétail et des surfaces de pâturage pour les éleveurs) et sur l'exploitant;
- une deuxième partie destinée à l'information sur les principales charges auxquelles les exploitations doivent faire face au cours d'une année d'exercice (charges opérationnelles, main d'œuvre, besoins d'équipement et matières premières, charges financières et d'amortissements) ;
- une troisième partie destinée à l'information sur les principaux revenus de l'activité au bout d'une période d'opération.

Les questionnaires pour le secteur forestier et d'élevage sont présentés dans les annexes **x**.

Sélection de l'échantillon pour la collecte des données primaires

L'échantillon ou public cible des questionnaires a été choisi de façon non aléatoire. La sélection des propriétaires tant dans le secteur forestier que dans le secteur d'élevage, faute de registres officiels à disposition du public, a été réalisée après la consultation des principaux spécialistes dans la région et de la définition de certaines critères.

Pour le secteur forestier, M. Marcelo Schuster, le principal ingénieur forestier dans la Municipalité de Cotriguaçu a été consulté. Il est responsable de l'élaboration des Plan d'Aménagement Forestier des principaux exploitants forestiers de Cotriguaçu. Il faut préciser que pour ce secteur, les enquêtes ont été appliquées aux propriétaires réalisant eux-mêmes l'exploitation ou à des exploitants qui sont contractés par les propriétaires fonciers. Le public cible ne comprenait pas les industriels qui achètent du bois pour le transformer.

On a priorisé l'obtention de données chez les exploitants forestiers participant au projet PRODEMFLOR, projet qui est développé par l'ONF Brésil en partenariat avec l'Institut Centro Vida (ICV). On ciblait ainsi des exploitants s'engageant à adopter à terme des pratiques durables au niveau de leurs exploitations, ainsi que les plus grands exploitants de la zone. Ce sont eux qui, par la taille et leur importance dans le secteur, sont les participants les plus probables dans une initiative REDD+.

Pour le secteur de l'élevage, des fonctionnaires du Département de l'Environnement de la Municipalité (SEMA), des membres de l'Association des Eleveurs de Cotriguaçu et un expert de l'ICV, en charge de la mise en place et du suivi d'un projet pilote de Bonnes Pratiques d'Elevage ont été consultés pour identifier les principaux éleveurs de Cotriguaçu. Pour ce secteur, les enquêtes ont été appliquées aux éleveurs qui faisaient de l'élevage de bovins pour l'engraissement. Le public cible ne comprenait pas les éleveurs de bovins laitiers, qui est aussi une activité développée dans la Municipalité, parce que cette activité développée sur une surface restreinte n'est pas un facteur significatif de déforestation.

Un critère de sélection additionnel pour l'inclusion dans l'échantillon était la référence par les autres exploitants. En effet, au fur et à mesure de l'application des questionnaires, d'autres noms d'exploitants étaient suggérés par les mêmes interviewés. On a pris en compte les exploitants qui ont été souvent mentionnés par les interviewés comme des référents des secteurs dans la région.

Il faut préciser que les noms obtenus de la consultation des spécialistes, de la liste de participants dans le projet Prodemflor et des exploitants mentionnés dans les entretiens sont souvent les mêmes. La Municipalité de Cotriguaçu étant une zone, en termes relatifs, assez petite, il existe un nombre réduit de grands exploitants et plusieurs d'entre eux développent les deux activités simultanément, dans la même ou dans différentes propriétés. On est ainsi rassuré d'avoir enquêté auprès des plus grands exploitants de la région et d'avoir obtenu des données assez représentatives des secteurs analysés.

L'échantillon est ainsi constitué de la façon suivante :

- Secteur Forestier : 8 grands exploitants de la Municipalité de Cotriguaçu dont 6 participant au projet Prodemflor ;
- Secteur de l'Elevage : 10 grandes exploitations de la Municipalité de Cotriguaçu dédiées à l'élevage pour l'engraissement.

La liste complète des exploitants et spécialistes interviewés peut être consultée dans les annexes.

Traitement des données

Evaluation des charges d'investissement et compte d'exploitation

Sur la base des données primaires et secondaires, on estime pour une exploitation modèle typique de la Municipalité les paramètres de base qui permettront de réaliser l'analyse financière :

- Charges d'investissement : construction des bâtiments, acquisition des équipements, acquisition des troupeaux, mise en place des pâturages et fréquence de leur renouvellement ;

- Charges d'opération : coûts annuels de l'entretien du capital productif, des consommations de carburants, intrants, de la main d'œuvre ;
- Revenus des activités productives.

Evaluation financière

On utilise les paramètres ci-dessus afin de déterminer les flux de trésorerie, Valeur Actualisée Nette et taux de Rentabilité Interne.

Les calculs sont réalisés à prix constant, avec un taux d'actualisation de 6,75%, pour une durée de 20 ans.

La valorisation du foncier est prise en compte : l'acquisition du foncier est inscrite comme charge d'investissement au démarrage de l'opération, sa revente comme revenu en fin d'opération. Nous verrons que c'est un facteur déterminant dans les résultats financiers des exploitations.

Nature des terrains	Prix par ha	Taux inflation
Forêt non exploitée	450	16 %
Forêt aménagée pour l'exploitation	900	16 %
Pâturages	1800	24 %

Tableau 1 : données de prix et d'inflation utilisées pour le foncier (Source ICV)

Exploitation forestière conventionnelle

Investissements et comptes d'exploitation

Les chiffres présentés dans cette section s'appliquent à une assiette annuelle de coupe. La surface moyenne exploitée annuellement est de 830 ha, avec une intensité de récolte de environ 20 m³/ha. L'exploitation dure en moyenne 9 mois et demi.

Les charges d'investissement se composent des coûts d'élaboration et validation des plans d'aménagement ainsi que des coûts d'acquisition et de renouvellement des équipements, et du foncier.

Les coûts liés aux plans d'aménagement sont en moyenne de 117 R\$/ha. Le tableau 1 Tableau 2 : équipements utilisés pour l'exploitation forestière représente les équipements utilisés, leur coût et leur durée de vie utile. Environ la moitié des exploitations sont équipées d'une débardeuse tandis que l'autre moitié utilise un type particulier de tracteurs adaptés pour réaliser les travaux de débardage. Cependant, nous n'avons pas traité ce deuxième cas car il n'induit pas de différence significative en matière de coûts d'investissement ou d'exploitation.

Équipements	PU (R\$)	Nombre	Durée de vie utile (ans)
Tronçonneuses	2 792	2	3
Bulldozer	171 667	1	25
Debardeuse	200 000	1	25
Pelleteuse	200 000	1	25
Nivelleuse	96 667	1	25
Camion benne	70 000	1	25
Camion	150 000	2	25
Camionnette	40 000	1	10

Tableau 2 : équipements utilisés pour l'exploitation forestière

Les charges opérationnelles se composent par ordre décroissant des coûts des carburants, de main d'œuvre (y compris la formation du personnel), d'entretien des équipements et des campements. Les figures 1 et 2 présentent les montants de ces coûts par ha et par m³ extrait, ainsi que leur répartition.

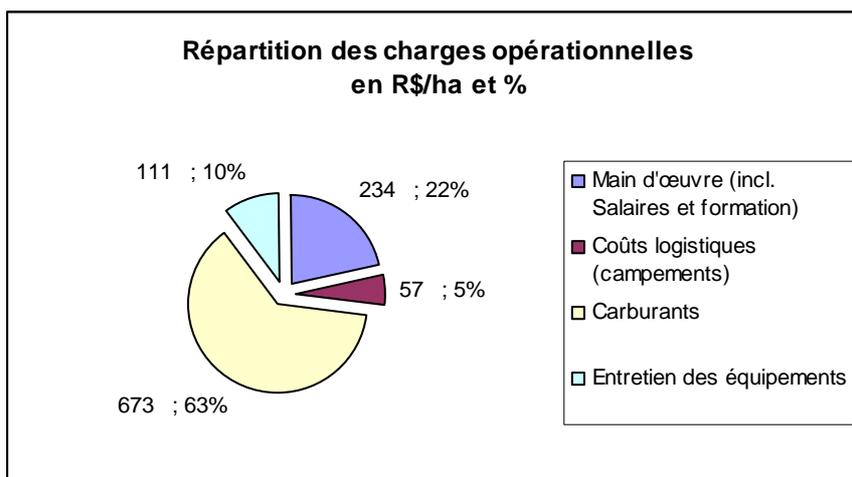


Figure 2 : Répartition des charges opérationnelles en R\$/ha et %

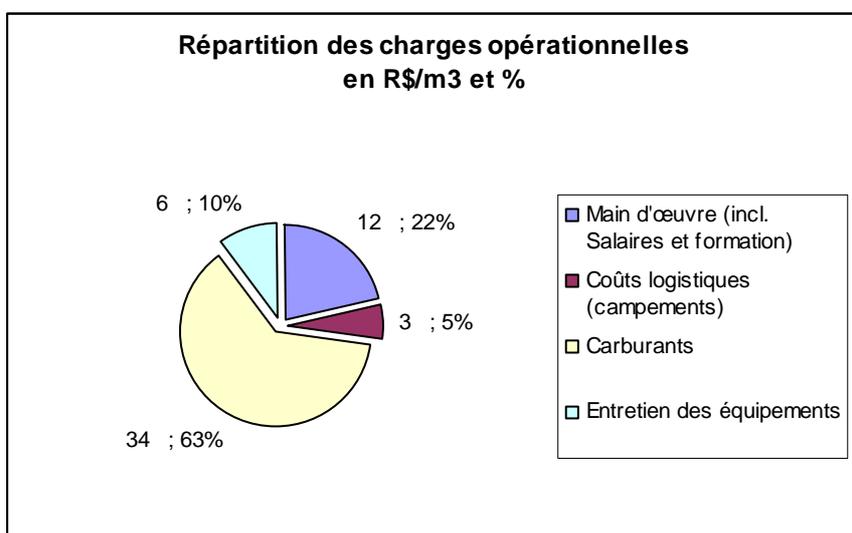


Figure 3 : répartition des charges opérationnelles en R\$/m³ et %

Les revenus sont en moyenne de 154 R\$ par m³.

Performances financières

On s'intéresse ici aux flux de trésorerie dans le temps. La durée de la rotation est donc un élément important. On fait l'hypothèse d'une rotation de 6 ans entre 6 assiettes annuelles de coupe de 830 ha. Cela correspond à une surface totale exploitable de 4 980 ha. Ces niveaux de grandeur sont dans la moyenne de ceux observés sur la Municipalité (cf.Réf. IFT).

Au bout de 6 années, l'ensemble des surfaces autorisées ont été exploitées, les opérations d'exploitation cessent.

Exploitation forestière conventionnelle	Charges d'investissement	Résultat d'exploitation	VAN totale	VAN /ha/an	TRI
- sans revente du foncier	3 927 122	1 574 510	3 955 956	40	41%
- avec revente du foncier	3 927 122	1 574 510	24 552 088	247	42%

Tableau 3 : performances financières de l'exploitation forestière conventionnelle

La VAN par ha et par an est de 247 R\$. Elle tombe à 40 R\$ si le foncier n'est pas revendu au bout de la période d'investissement (20 ans). Par contre, la revente foncière intervenant en fin d'investissement, cela n'a pratiquement pas d'influence sur le TRI.

Systemes d'élevage conventionnels

Investissements et comptes d'exploitation

Nous avons distingué petits et grands éleveurs, qui se distinguent en matière de taux de chargement, charges d'investissement et résultats économiques.

Les petites exploitations disposent en moyenne de 495 ha de pâturages, 1109 têtes de bétail, correspondant à 721 UGB, avec un taux de chargement de 1,46 UGB/ha. Le cheptel se répartit entre veaux de 0-8 mois (14%), veaux de 8-14 mois (19%), génisses/taurillons (29%), vaches allaitantes (37%) et taureaux (1%).

Les grandes exploitations disposent en moyenne de 1237 ha de pâturages, 4377 têtes de bétail, correspondant à 2701 UGB, avec un taux de chargement de 2,18 UGB/ha. Le cheptel se répartit entre veaux de 0-8 mois (11%), veaux de 8-14 mois (21%), génisses/taurillons (39%), vaches allaitantes (29%) et taureaux (0,3%).

Les charges d'investissement se composent des coûts de construction des bâtiments (cf. figures 3 et 4), des équipements pour les pâturages (cf. figure 5) et des machines (cf. figure 6), de l'acquisition du foncier, des troupeaux et de la mise en place et du renouvellement des pâturages. Ces coûts sont en partie couverts par la vente du bois de défriche.

Charges d'investissement	PU (R\$)	Nombre	Durée de vie utile (ans)
Bâtiments		Petites exploitations	
Bâtiment principal	47 500	1	20
Bâtiment annexe	22 857	1	20
Hangar	17 500	1	20
Corral	66 000	1	20

Figure 4 : bâtiments des petites exploitations

Charges d'investissement	PU (R\$)	Nombre	Durée de vie utile (ans)
Bâtiments		Grandes exploitations	
Bâtiment principal	47 500	1	20
Bâtiment annexe	22 857	2	20
Hangar	65 000	1	20
Corral	133 333	1	20

Figure 5 : bâtiments des grandes exploitations

Équipements	PU (R\$)	Nombre		Durée de vie utile (ans)
		Petites exploitations	Grandes exploitations	
Clôtures (/ha)	4 511	0.07	0.05	20
Abreuvoirs (/100 têtes)	983	1.36	1.36	20
Salières (/100 têtes)	850	1.06	1.06	20

Figure 6 : équipements

Machines	PU (R\$)	Nombre		Durée de vie utile (ans)
		Petites exploitations	Grandes exploitations	
Tracteur principal	67 000	1.00	1.00	20
Tracteur secondaire	174 583	0.00	1.00	20
Tronçonneuse	1 917	1.00	1.00	4
Pulvérisateur (petit)	4 000	1.00	0.00	10
Pulvérisateur (grand)	6 750	0.00	1.00	10

Figure 7 : machines

Les charges opérationnelles se composent des coûts de personnel, d'entretien des bâtiments et équipements, des traitements sanitaires, des compléments alimentaires, d'entretien des pâturages, et des consommations d'énergie. Elles s'élèvent à 209 R\$/UGB (304 R\$/ha) pour les petites exploitations et 182 R\$/UGB (397 R\$/ha) pour les grandes exploitations.

Les figures 7, 8, 9 et 10 présentent les montants de ces coûts par ha et par UGB, ainsi que leur répartition.

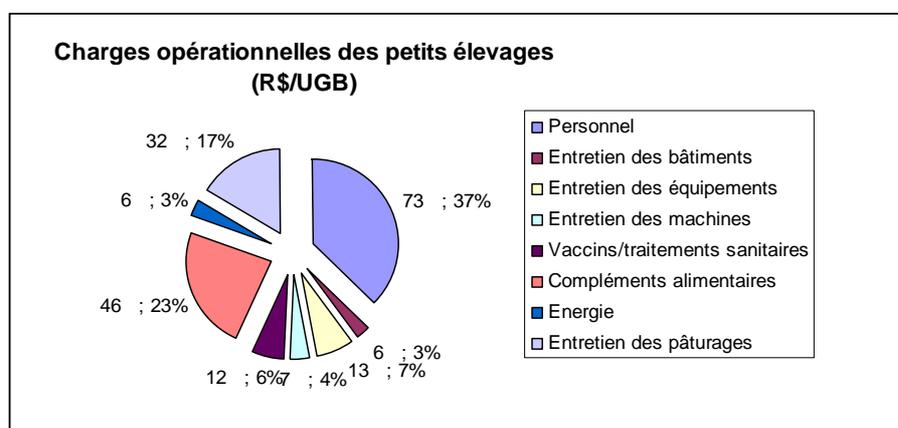


Figure 8 : charges opérationnelles des petites exploitations d'élevage en R\$/UGB

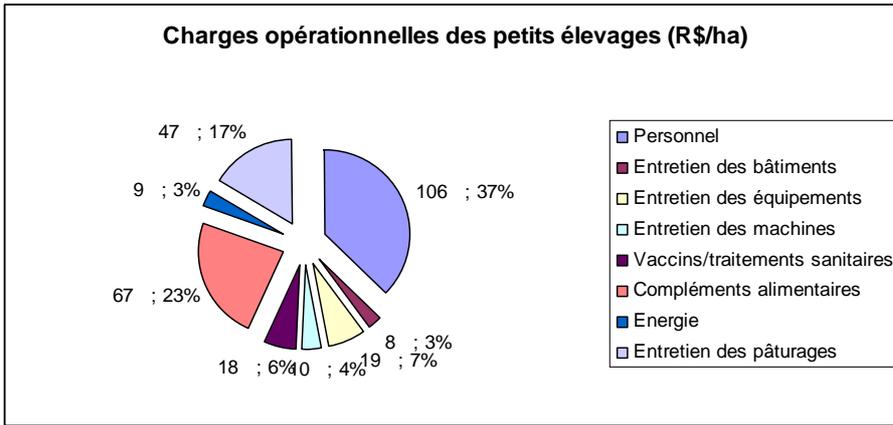


Figure 9 : charges opérationnelles des petites exploitations d'élevage en R\$/ha

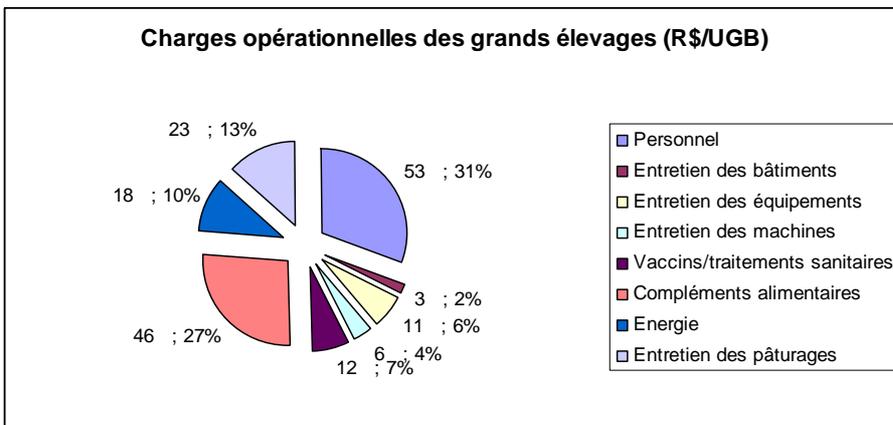


Figure 10 : charges opérationnelles des grandes exploitations d'élevage en R\$/UGB

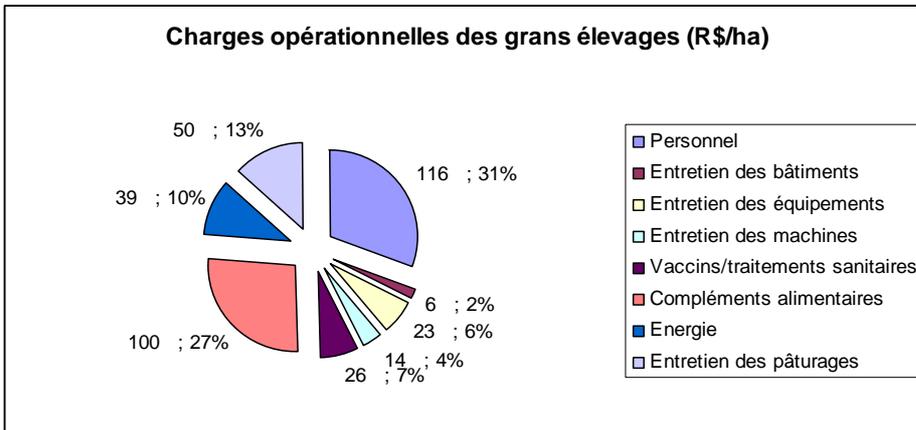


Figure 11 : charges opérationnelles des grandes exploitations d'élevage en R\$/ha

La productivité est en moyenne de 127 kg/ha pour les petits propriétaires et de 89 kg/ha pour les grands propriétaires.

Les revenus sont en moyenne de 607 R\$/ha pour les petits propriétaires et de 500 R\$/ha pour les grands propriétaires.

Performances financières

On prend le cas d'une exploitation d'élevage type de 1237 ha, correspondant aux données présentées ci-dessus pour les grandes exploitations.

Elevage conventionnel	Charges d'investissement	Résultat d'exploitation	VAN totale	VAN /ha/an	TRI
- sans revente du foncier	8 301 402	111 599	- 4 086 332	- 165	#NOMBRE!
- avec revente du foncier	8 301 402	111 599	37 624 724	1 521	17%

Tableau 4 : performances financières des exploitations d'élevage

Sans revente du foncier, l'activité présente une VAN négative, - 165 R\$/ha/an. Avec revente du foncier, la VAN est de 1 521 R\$/ha/an, et le TRI de 17%.

L'espérance de la plus value foncière semble donc être un facteur déterminant motivant la conversion des forêts en pâturages.

Systèmes d'élevage avec de bonnes pratiques de durabilité

Pour ce système, aucune donnée primaire n'a pu être collectée sur le territoire de la Municipalité, faute d'exploitation ayant mis en place ces pratiques. On se base donc uniquement sur des données secondaires (réf. ICV).

Elevage avec BPA	VAN totale	VAN /ha/an	TRI
- sans revente du foncier	21 870 160	884	24%
- avec revente du foncier	63 059 764	2 549	

Sans revente du foncier, l'activité présente une VAN de 884 R\$/ha/an. Avec revente du foncier, la VAN est de 2 549 R\$/ha/an.

Evaluation de la viabilité financière du programme REDD

Développement méthodologique

Evaluation du scénario de référence

On se réfère aux lignes directrices développées par le VCS pour les programmes REDD d'échelle juridictionnelle en les appliquant à la Municipalité de Cotriguaçu, en les complétant d'éléments pertinents de la méthodologie modulaire VM007.

Durée du scénario de référence

Le scénario de référence doit être établi pour une **durée de 5 à 10 ans**, puis renouvelé à cette fréquence.

Activités incluses

Le scénario de référence du programme juridictionnel peut inclure l'ensemble des activités telles que définies par la CCNUCC et les règles du VCS pour les projets AFOLU:

- Réduction des émissions de GES dues à la déforestation :
 - o De type planifié : conversion des forêts privées en pâturages ;
 - o De type non planifié : production agricole vivrière dans les asentamentos et terres indigènes ;
- Réduction des émissions de GES dues à la dégradation :
 - o De type planifié : exploitation forestière légalement sanctionnée;
 - o De type non planifié : prélèvements de bois de feu, bois de service ;
- Boisement/reboisement et augmentation des stocks de carbone forestier :
 - o Boisement/reboisement des terrains non boisés, comme par exemple la récupération des APP ;
 - o Augmentation des stocks de carbone des forêts dégradées par des activités d'enrichissement, assistance à la régénération.

Le programme devra déterminer quelles activités inclure en fonction de leur potentiel d'abattement et du rapport coûts/bénéfices. Notons toutefois que l'ensemble des activités de RED doivent être incluses.

On s'intéresse dans cette étude aux activités de :

- **réduction des émissions de GES dues à la déforestation de type planifié : conversion des forêts privées en pâturages ;**
- **réduction des émissions de GES dues à la dégradation de type planifié : exploitation forestière légalement sanctionnée.**

Historique des émissions de GES

Le niveau historique des émissions de GES doit être établi pour l'ensemble de la juridiction pour les dix années précédant le programme. Il forme la base de la projection du scénario de référence.

Afin de l'estimer, on doit évaluer pour chaque activité concernée, déforestation et dégradation :

- Les données d'activité : les surfaces déboisées et dégradées en moyenne par année pendant la période historique considérée ;
- Les facteurs d'émission : les émissions de carbone issues du déboisement et de la dégradation d'un ha de forêt.

Niveau historique des émissions de GES dues à la déforestation planifiée

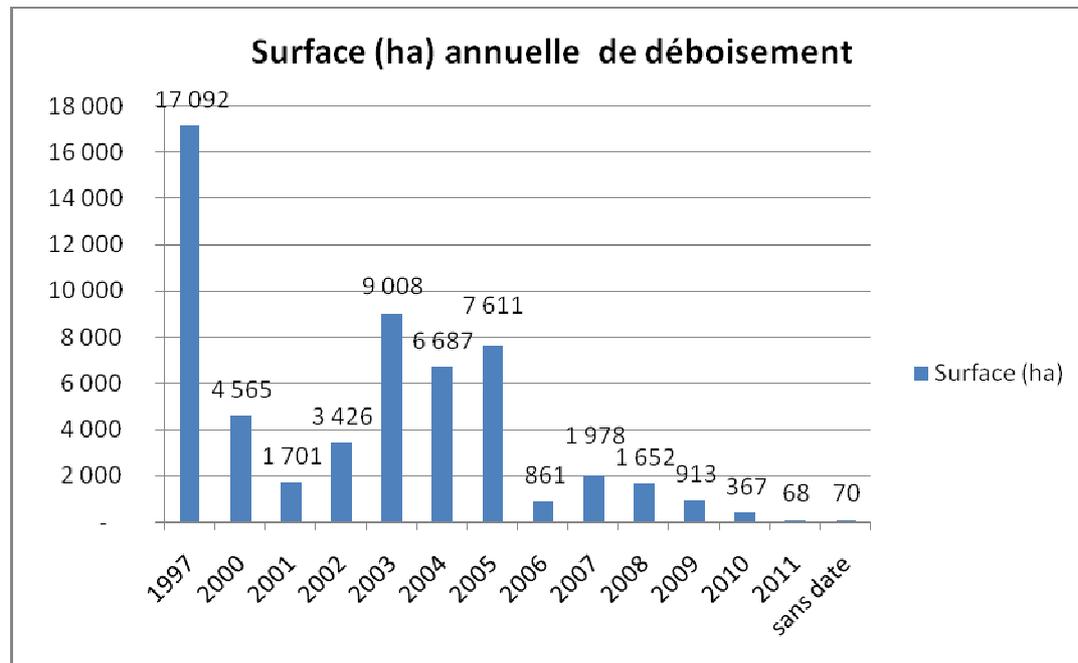
Donnée d'activité

On utilise les données suivantes :

- Contours géographiques des propriétés privées de la Municipalité de Cotriguaçu en 2011 issus du SIMLAM, système intégré de suivi et gestion des permis environnementaux, de l'Etat du Mato Grosso ;
- Suivi annuel des déboisements dans la Municipalité de Cotriguaçu, issu des données PRODES, produites à l'échelle nationale par l'INPE, Institut National de Recherche Spatiale.

	Surface (ha)	%
Forêt	387 691	84,9%
Non forêt	11 869	2,6%
Déboisements	55 996	12,3%
Hydrographie	796	0,2%
Sans données	558	0,1%
Total	456 910	100%

Couverture du sol dans les propriétés privées de la Municipalité de Cotriguaçu en 2012 (données PRODES)



Surface annuelle déboisée dans les propriétés privées de la Municipalité de Cotriguaçu (données PRODES)

En retenant 2012 comme année de démarrage du programme, la surface annuelle déboisée pour la période historique, 2002 – 2011, est de 3 257 ha/an.

Notons que l'évolution historique montre un fort ralentissement de la déforestation entre la période 2002-2006, 5 519 ha/an et la période 2007-2011, 996 ha/an, qu'on peut expliquer par :

- Les effets de la politique environnementale mise en œuvre par les autorités publiques ces dernières années ;
- Le contexte économique international moins favorable aux exportations de viande bovine depuis la crise de 2008.

Facteur d'émission

Le facteur d'émission de GES d'un ha déboisé est égal à la somme :

- des émissions de carbone dues aux variations nettes de stocks de carbone entre le stock de carbone pré-déforestation et le stock de carbone post-déforestation ;
- des émissions d'autres sources de GES liées aux déboisements : feux, utilisation d'engrais, fermentation entérique du bétail.

Le changement net de stocks de carbone est égal à la différence entre le stock de carbone pré-déforestation et le stock de carbone post-déforestation. Ce dernier est le stock moyen à long terme de l'usage du sol post-déforestation, les pâturages pour l'élevage extensif.

Les compartiments de carbone pertinents sont :

- la biomasse aérienne vivante
- la biomasse souterraine
- la litière
- le bois mort
- le sol
- les produits bois

Le choix des compartiments doit répondre aux critères de significativité et conservatisme.

Pour la biomasse aérienne ligneuse, il est exigé d'utiliser des données collectées localement, au cours des dix années précédant le démarrage du programme. Ces données doivent être accompagnées d'une évaluation de l'incertitude.

Pour les autres compartiments, il est permis d'utiliser des données par défaut si ces compartiments représentent moins de 15% du total du stock de carbone.

Pour cette étude, on s'est basé sur les travaux déjà réalisés par l'ICV, qui a réalisé des mesures de terrain sur 20 parcelles temporaires de 1ha réparties sur 5 strates (4 parcelles/strate) : forêt dense ombrophile (altitude 200-299 m), forêt ombrophile ouverte avec palmes et lianes (altitude 200-299 m), forêt dense ombrophile (altitude 100-199 m), forêt ombrophile ouverte avec palmes et lianes (altitude 100-199 m), forêt dense ombrophile (altitude 300-399 m). Ces 5 strates représentent près de 85% de la surface de la Municipalité. Elles ont été obtenues en croisant une carte thématique de végétation simplifiée d'après RADAMBRASIL et une carte d'altitude produite à partir d'un modèle numérique de terrain.

Les compartiments mesurés ont été la biomasse aérienne vivante (AGLB), le bois mort (AGDB), et la biomasse souterraine (BGB).

Pour les arbres, l'équation allométrique de Nogueira et al. (2008) a été utilisée : elle a été développée spécifiquement pour les forêts amazoniennes localisées dans l'arc de déforestation, sur des arbres choisis dans des zones proches de la zone d'étude, dans les Municipalités de Cotriguaçu et Juruena.

Pour les palmes et lianes, des équations allométriques issues de travaux de recherche en Amazonie étaient aussi disponibles.

Life form	Allometric equation	Source
Trees	$\exp(-1.716 + 2.413 \ln(\text{DBH}))$	Nogueira et al (2008)
Palms	$\text{Exp}(((5.7236 + 0.9285 \ln(\text{DBH}^2)) \times 1.05001) / 10^3)$	Nascimento & Laurence (2002)
Lianas	$\exp(7.114 + 2.276 \ln(\text{DBH}))$	Gerhing et al. (2004)

Tableau 5 : Equations allométriques disponibles pour estimer la biomasse sèche des arbres, palmes et lianes dans les forêts de l'Amazonie méridionale (source : ICV).

Pour la biomasse racinaire, un ratio tige racine de 0.21 a été utilisé.

Sur l'ensemble des 20 parcelles, le stock de carbone total a été estimé en moyenne à 173 tC/ha, dont 129 tC/ha pour la biomasse vivante aérienne (AGLB), 27 tC/ha pour la biomasse racinaire (BGB), et 17 tC/ha pour le bois mort (AGDB).

	Stocks de carbone (tC/ha)
Biomasse aérienne ligneuse	124 ± 14
Palmes	4 ± 1
Lianes	0,3 ± 0,1
Biomasse aérienne (total)	129 ± 13
Bois mort sur pieds	4,4 ± 1,2
Bois mort au sol	13,2 ± 2,5
Bois mort (total)	17,6
Biomasse souterraine	27 ± 2,7
Biomasse totale	173

Stocks de carbone des forêts de Cotriguaçu (données ICV)

La litière ne représente qu'un faible % du stock de carbone total : ce compartiment n'est pas significatif. Son omission est par ailleurs conservative, puisque les stocks de ce compartiment augmentent dans le scénario de projet par rapport au scénario de référence.

Niveau historique des émissions de GES dues à la dégradation planifiée

Donnée d'activité

En ce qui concerne la dégradation planifiée, c'est-à-dire l'exploitation forestière légale, on se base sur les statistiques disponibles pour la municipalité de Cotriguaçu, à travers les systèmes d'information sur l'environnement, SIMLAM et la forêt SISFLORA. Les plans d'aménagement forestier et autorisations d'exploitation forestière y sont enregistrés et localisés dans un SIG. Cependant, ces informations ne contiennent que des prévisions de surfaces et volumes exploitables et peuvent donc conduire à des surestimations. On préfère donc se référer aux volumes d'autorisations de circulation de grumes accordées par l'Etat aux opérateurs de la Municipalité. On en déduit ensuite la surface annuelle exploitée sur la base de l'intensité moyenne d'exploitation issue de l'étude de l'IFT sur le secteur forestier (réf. IFT) et corroborée par les résultats des enquêtes socio-économiques que nous avons réalisées.

	Volumes de grumes autorisés (m ³)
2006-2007	243 068,39
2008	138 926,80
2009	111 106,75
2011	150 900,40
2012	146 678,46
2013	25 571,06
Total 2006-2013	790 680,81
Moyenne annuelle 2006-2012 (m ³)	109 301,39
Intensité de récolte moyenne (m ³)	20,00
Surface annuelle exploitée (ha)	5 465,07

Note: l'année 2013 étant incomplète, les calculs sont limités à la période 2006 - 2012

Volumes de grumes autorisés entre 2006 et 2013 (données SEMA/SISFLORA)

En moyenne sur la période 2006-2012, la SEMA a accordé annuellement les autorisations pour 109 301 m³ de grumes, ce qui correspond à une surface annuelle exploitée de 5 465 ha (intensité de récolte de 20 m³/ha).

Facteur d'émission

Le facteur d'émission de GES du à l'exploitation forestière peut être estimé selon deux approches :

- La comparaison des stocks de carbone avant et après exploitation ;
- L'estimation des flux de carbone liés à l'exploitation.

La première approche est difficile à utiliser compte tenu du manque de données spatialement explicites sur les stocks de carbone avant et après exploitation pouvant être corrélées avec les historiques d'exploitation forestière. C'est donc la deuxième approche qui est utilisée ici, en se basant sur les résultats obtenus avec les mesures de terrain réalisées pour évaluer le scénario projet (cf. ci-dessous).

Scénario de référence

Le scénario de référence doit être basé sur les évolutions historiques décrites ci-dessus. Deux alternatives doivent être envisagées :

- La continuation de la moyenne annuelle des émissions historiques ;
- La continuation de la tendance historique des émissions.

Il peut être ajusté en fonction de paramètres explicatifs des tendances passées et futures de la déforestation et dégradation des forêts, tels que le PIB, les prix des matières premières agricoles, la démographie, les politiques forestières, etc.

Dans le cas de cette étude, on se limite à la **continuation de la moyenne annuelle des émissions historiques**.

Le scénario de référence doit également tenir compte des contraintes d'ordre légal, technique, économique limitant la déforestation et la dégradation forestière, et définir ainsi les surfaces maximales pouvant faire l'objet de déboisement ou dégradation.

Surface maximale pour la déforestation planifiée

On doit être en mesure de justifier la surface de forêt se trouvant sous la menace directe de déboisement, à travers la démonstration des critères suivant :

- Le déboisement est conforme avec la loi;
- La zone est propice au développement des causes directes de déforestation : l'accès aux marchés, les sols, la topographie, le climat permettent l'élevage.

La surface ainsi définie ne peut excéder le maximum légal, à moins qu'il puisse être démontré que la loi n'est habituellement pas appliquée.

Application de la contrainte légale

Le code forestier restreint les possibilités de déboisement de deux manières :

- Les zones vulnérables, du fait de leur relief ou de leur proximité aux cours d'eau et zones humides sont classées en zones de protection permanente, APP, et ne peuvent être déboisées ;
- Une fois exclues les APP, seulement 20% de la surface forestière peut être déboisée, les 80% restant étant classés en tant que réserve légale (ces proportions sont spécifiques au biome amazonien).

Application des contraintes technico économiques

Surface maximale pour la dégradation planifiée

On doit être en mesure de justifier la surface de forêt se trouvant sous la menace directe d'exploitation forestière, à travers la démonstration des critères suivant :

- L'exploitation forestière est conforme avec la loi:
- La zone est propice au développement des causes directes de l'exploitation forestière : l'accès aux marchés, les sols, la topographie, le climat permettent l'exploitation.

La surface ainsi définie ne peut excéder le maximum légal, à moins qu'il puisse être démontré que la loi n'est habituellement pas appliquée.

Application de la contrainte légale

Application des contraintes technico économiques

Projection des émissions du scénario de référence

Evaluation du scénario de projet

Le scénario de projet se compose de deux volets :

- Le placement sous aménagement forestier durable du massif forestier privé de la Municipalité de Cotriguaçu ;
- La mise en valeur durable des terrains déjà déboisés via des bonnes pratiques d'élevage.

En matière méthodologique, il convient de prendre en compte :

- Les émissions de GES liées à l'exploitation forestière sous aménagement durable ;
- Les émissions de GES liées à l'élevage.

Emissions de GES liées à l'exploitation forestière sous aménagement durable

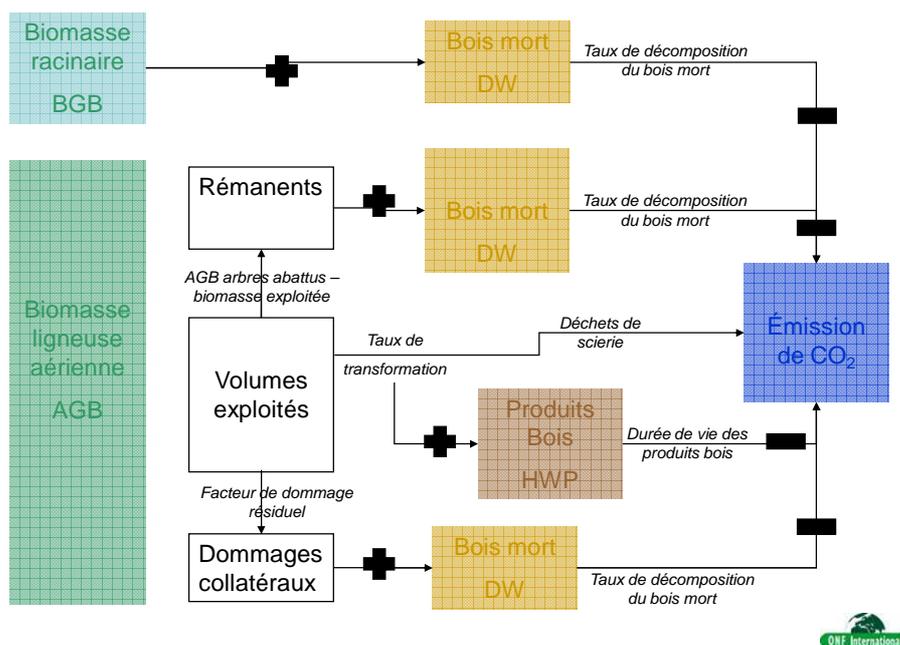
Ce volet a fait l'objet d'un travail spécifique d'élaboration d'un protocole de mesure et suivi. Ce protocole a été développé sur le terrain en l'appliquant au cas de deux assiettes de coupe en cours d'exploitation dans des propriétés forestières privées de Cotriguaçu.

On présente ici une synthèse du protocole et des résultats obtenus.

Paramètres à prendre en compte

Les principales activités émettrices

Les flux entre les compartiments de carbone liés à l'exploitation forestière sont représentés dans le schéma ci-dessous :



Détail des paramètres clefs

Les différents paramètres clefs que l'on devra mesurer à partir des mesures terrain ou bien de la littérature sont :

- Les stocks de carbone des forêts avant exploitation

Il est nécessaire d'estimer les stocks de carbone des forêts avant exploitation de façon à pouvoir estimer les émissions de carbone liées à la disparition du couvert forestier sur l'emprise spatiale des infrastructures d'exploitation et des trouées d'abattage.

Pour l'application du protocole sur les cas pilotes, nous avons utilisé les données collectées sur le terrain ainsi que les données de littérature disponibles. Cependant, on pourra également utiliser les placettes permanentes de surveillance de la biomasse aérienne que les propriétaires forestiers sont tenus de mettre en place dans le cadre du plan d'aménagement, en les complétant pour les petits diamètres et en s'assurant de respecter le niveau de fiabilité demandé.

- L'emprise spatiale des infrastructures d'exploitation

L'emprise spatiale de la piste principale, des pistes secondaires et des aires de stockage se distinguent par l'absence de canopée et est déterminée par télédétection. Pour les pistes secondaires, on fait un premier examen grâce aux images satellites, mais étant donnée le faible niveau d'ouverture, on doit compléter ces informations avec des mesures de terrain. Un cheminement complet des pistes secondaires est donc réalisé à l'aide d'un GPS ainsi que la mesure de la largeur moyenne.

- Les dégâts d'exploitations dans les trouées d'abattage

Suite à l'abattage de l'arbre, une ouverture dans la canopée, plus ou moins importante, est faite. On considère ici que cette zone est mise à nu même si elle ne se caractérise pas de la même manière qu'une zone nette sans végétation comme les pistes et les parcs de stockage. En effet, les déchets laissés sur place se décomposent assez rapidement et le signal sur l'image satellite est alors le même que pour un sol nu. La mesure sur le terrain n'étant pas envisageable, l'emprise spatiale de la trouée est donc déterminée par télédétection. On cherchera à obtenir une image peu de temps après le débardage. Ainsi la végétation n'a pas le temps de se régénérer et la vision des dégâts créés pendant le débardage est optimisée (traîne des grumes, passage des engins).

- Les dommages collatéraux

Les zones à proximité immédiate des infrastructures d'exploitation et des trouées d'abattage subissent des pertes de biomasse dues aux effets collatéraux du passage des engins et de l'abattage. Il convient d'évaluer la superficie de ces zones tampon affectées ainsi que la perte de biomasse correspondante. Lors de l'étude réalisée sur la zone de Cotriguaçu, on a donc mesuré les arbres vivant sur pied ou au sol, intacts ou blessés avec chacun un code spécifique selon l'intensité des blessures. Les résultats des mesures réalisées au sein des placettes temporaires ont été analysés afin d'obtenir la limite en mètre linéaire et le pourcentage moyen de perte de biomasse dans les zones tampons. Ces résultats peuvent être directement repris pour des modes d'exploitation similaire ou être estimés à partir de mesures de terrain en suivant la même méthodologie.

- Le pourcentage de rémanents laissé sur place après l'abattage des arbres

Lors du découpage des grumes, on sépare la partie commerciale des bois grossiers (LWB) et des débris ligneux fin (FWB) pour produire des billes marchandes destinées à la transformation. Le carbone de ces éléments se décompose ou est transféré rapidement dans le bois mort pour les

parties les plus fines.

Le pourcentage de rémanents laissés sur site après abattage des arbres est déduit en soustrayant le volume de grumes extraites de la biomasse totale.

- Les taux de décomposition du bois mort issu de l'exploitation

La biomasse morte du fait des dégâts directs et indirects dus à l'exploitation s'ajoute au compartiment bois mort. On détermine le taux auquel le bois mort se décompose dans la litière. Deux taux différents sont appliqués en fonction de la taille des débris. Une fois décomposé dans la litière, on considère que le carbone est émis en totalité.

- Le volume exploité

Le volume total des grumes extraites est déterminé d'après le plan de suivi de la récolte ou sur la base des autorisations de circulation de grumes délivrées par l'administration à l'opérateur.

- Le % de transformation et le type de produits bois

On cherche ici à connaître le pourcentage de la grume arrivant en scierie qui sera réellement valorisée en produits bois. Il se situe généralement entre 50 et 60 %. Le reste constitue les résidus et les purges qui sont considérés comme des émissions directes.

D'après la littérature ou les données obtenues auprès des scieries de la zone, l'opérateur doit déterminer quel est le taux de transformation des produits bois dans les scieries.

- La durée de vie des produits bois

On doit estimer pour chaque type de produits bois la durée de vie et le taux d'oxydation du carbone dans l'atmosphère afin de pouvoir estimer les émissions depuis ce compartiment.

- et la régénération après exploitation sur assiettes de coupe

Les pertes de carbone ont lieu lors et immédiatement après l'exploitation ; la séquestration de carbone post exploitation s'étalera au contraire sur une plus longue période (plusieurs décennies) et dépendra de la vitesse de régénération ainsi que du type d'espèce. En l'absence de données locales disponibles, on se base sur les données de la littérature pour déterminer la quantité de carbone stockée dans les tiges en croissance et les nouvelles tiges.

Les activités émettrices qu'il est important de mesurer pour chaque compartiment sont résumées dans le tableau ci-dessous.

PARAMETRES	DONNEES	MODES D'ACQUISITION
Stocks de carbone des forêts avant exploitation	H, DHP, D, équation allométrique	Mesures de terrain et/ou littérature
Emprise spatiale des infrastructures d'exploitation	Superficie pistes principales, pistes secondaires et parcs à grumes. Ouverture de la canopée = disparition totale ou partielle de la végétation	Télédétection + Tracé des pistes en routine après exploitation (GPS) + mesure de largeur des pistes secondaires
Dégâts d'exploitation	Superficie des trouées d'abattage	Télédétection

Domage collatéraux	arbres exploités, arbres morts ou arbres blessés avec chacun un code spécifique selon l'intensité des blessures	Mesures de terrain
Pourcentage de rémanents laissé sur site après abattage des arbres	Biomasse totale - Biomasse grume	Calcul et équation allométrique d'après les données du volume exploité et de la biomasse aérienne initiale
Volumes exploités	Volume de grumes réellement sorties	Autorisations de circulation de grumes attribuées par l'administration
Pourcentage de transformation et types de produits bois	Taux de transformation Types de produits bois	Littérature + site IPT
Régénération après exploitation sur assiette de coupe	Accroissement et recrutement des nouvelles tiges	Littérature et mesures de placettes permanentes
Taux de décomposition du bois mort issu de l'exploitation	% de biomasse ligneuse fine et biomasse ligneuse grossière Taux de décomposition	Littérature
Durée de vie des produits bois	Taux de décomposition par type de produit bois	Littérature

Tableau 5 : Résumé des activités émettrices et du mode d'acquisition des données correspondantes

Plan de mesures

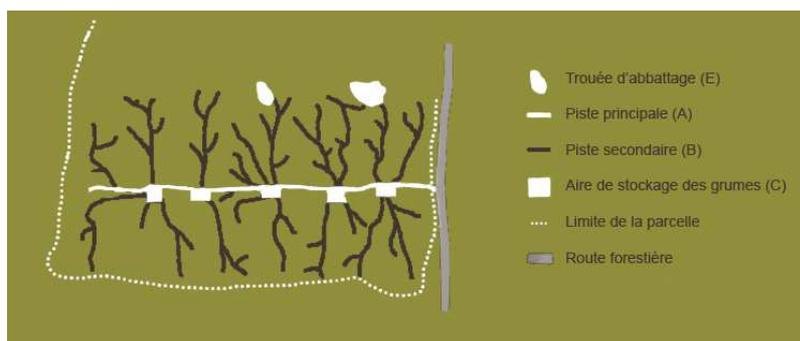
Pour réaliser le plan de mesures, on doit suivre les étapes suivantes :

- Stratifier la zone cible;
- Choisir les compartiments de carbone ;
- Déterminer le type, nombre, taille et forme des placettes ;
- Déterminer la fréquence des mesures.

Stratification de la zone cible

Il s'agit de la zone boisée du programme faisant l'objet d'une exploitation forestière sous aménagement durable et qui est réellement exploitée. On exclue donc toutes les zones boisées qui ne font pas partie de la surface exploitable du fait d'un statut légal de protection (APP) ou d'autres facteurs (pauvreté en essences exploitables, difficultés d'accès, ...). Elle doit être stratifiée afin de définir :

- D'une part des strates homogènes en matière de stocks de carbone, reflétant des différences en termes de topographie, hydrographie, espèces forestières dominantes,...
- D'autre part des strates homogènes en matière d'impacts de l'exploitation forestière : pistes principales, pistes secondaires, aires de stockage des grumes, trouées d'abattage, zones tampon subissant les dommages collatéraux des infrastructures d'exploitation et des trouées d'abattage.



Choix des compartiments de carbone

Le choix des compartiments est soumis aux exigences des AFOLU Requirements (V3) et suis les critères des méthodologies VCS VM0010 et VM0011. Les compartiments qu'il est nécessaire d'étudier afin d'obtenir la valeur la plus précise et conservatrice des émissions de carbone dues à l'exploitation forestière sous aménagement durable sont définies dans le tableau ci-dessous.

Compartiments		Statut	Justification
AGB I	Biomasse aérienne ligneuse	Inclus	Toujours significatif
DW	Bois mort	Inclus	Obligatoire dans les outils VCS pour les problématiques AFOLU
HWP	Produits Bois récoltés	Inclus	Significatif dans les deux cas mais on ne connaît pas son évolution car il dépend du scénario de référence choisi
BGB	Biomasse racinaire	Inclus	Augmentation dans scénario projet
AGB nl	Biomasse aérienne non ligneuse	Exclu sauf palmier	Conservateur et peu significatif, seuls les palmiers sont comptabilisés avec l' AGB car présence très importante sur la zone d'étude
L	Litière	Exclu	Non significatif
S	Carbone organique du sol	Exclu	Conservateur

Tableau 6 : Choix des compartiments

Dans le cas d'une exploitation commerciale, la majorité du carbone se trouvant dans la biomasse aérienne ligneuse, le bois mort et les produits bois récoltés, ces compartiments sont considérés hautement significatifs pour l'étude des stocks de carbone.

AGB : La biomasse aérienne des arbres est le seul compartiment dont l'évaluation est obligatoire d'après le standard VCS (greenCollar Pty Ltd 2011) puisqu'il constitue la majorité des stocks totaux de biomasse des forêts tropicales. Au sein de la biomasse ligneuse, seuls les arbres et les palmiers sont considérés. Les lianes sont peu significatives en termes de biomasse.

DW : le bois mort est un élément significatif puisque les dégâts d'exploitation génèrent une grande quantité de bois mort.

HWP : Les produits ligneux récoltés doivent être inclus si l'extraction du bois est associée à une augmentation du stock de carbone dans les produits du bois à long terme dans le cas du scénario de référence par rapport au scénario du projet.

BGB : L'estimation de la biomasse souterraine des arbres est recommandée, ce compartiment représentant habituellement entre 15% et 30% de la biomasse aérienne. Donc même si il est conservatif de ne pas mesurer ce compartiment, il est jugé utile de l'évaluer dans le cadre du projet en vue de générer plus de crédits de réductions des émissions.

AGB nl : Il est jugé conservateur de ne pas prendre en compte la biomasse aérienne non ligneuse, qui en outre n'est pas considérée comme significative en termes de séquestration de carbone, en comparaison des quantités importantes de carbone de la biomasse aérienne ligneuse.

S et L : De la même manière il est jugé conservateur de ne pas comptabiliser le carbone organique du sol et de la litière car les changements d'usages des sols qui font suite à la déforestation (Scénario de référence) sont généralement des activités non synonymes de séquestration (pâturage). De plus ils s'observent sur des temps longs et représentent une réserve de carbone onéreuse à mesurer. Pour minimiser le coût des mesures, les compartiments S et L sont donc exclus (Bernoux et al. 1998).

Obtention des données et outils de mesure

Les deux composantes étudiées sur le terrain sont les effets de l'exploitation sur le peuplement d'arbres donc les dégâts d'exploitation et l'ouverture de la canopée qui correspond à l'emprise spatiale des infrastructures d'exploitation. L'obtention des données se fait principalement par des mesures sur le terrain et la télédétection. Il est recommandé d'utiliser des images satellites de haute résolution. Pour appliquer ce protocole sur les cas d'étude, nous avons utilisé en partenariat avec Astrium des images Pléiades, système d'observation optique composé de deux satellites identiques, qui fournissent des produits de 50 cm de résolution.

Concernant les autres composantes, volumes exploités, % de rémanents, % de transformation et types de produits bois et la régénération après exploitation sur assiettes de coupe, on se base sur la littérature ou bien sur les données d'exploitation et de transformation obtenues auprès des opérateurs du secteur.

Caractéristiques des placettes de mesure

Deux sortes de placette de mesure sont nécessaires :

- Placettes pour estimer les stocks de carbone des forêts avant exploitation :

L'utilisation de placettes permanentes est conseillée. En outre, la SEMA exige la mise en place de placettes permanentes pour la surveillance de la biomasse aérienne. Ces placettes doivent être réalisées de manière systématique tous les 200 ha dans les zones non exploitées et être de forme rectangulaire et de taille minimum de 2 500 m². Les mesures concernent tous les arbres de plus de 35 cm de Dhp.

Tableau 7 : Intensité d'échantillonnage selon la taille des parcelles

Área a ser amostrada (ha)	Intensidade ideal (%)
Até 500	1,0
500 -1500	0,8
Acima de 1500	0,6

Le porteur de projet a donc déjà en sa possession les données sur la quantité de biomasse en forêts non exploitées. Les coordonnées de chaque placette sont enregistrées à l'aide d'un GPS et une borne permanente est positionnée au centre de la placette pour la localiser (borne en béton p.e.). Cependant pour que les données correspondent avec les données utilisées dans ce protocole, l'opérateur devra compléter les mesures en prenant en compte les arbres entre 10 et 35 de Dhp. Dans le cas où aucune parcelle permanente de suivi ne serait présente sur la parcelle d'exploitation ou bien si les données ne permettent pas d'obtenir un résultat fiable, c'est à dire un taux d'erreur faible, le porteur de projet devra alors mettre en place des placettes témoins en zone non exploitée. Celles-ci seront réalisées en suivant le protocole de Gentry développé en **Annexe**.

Il est prévu dans la loi qu'aucune exploitation ne doit être faite à moins de 30 m des cours d'eau. On prendra garde à ne pas réaliser les placettes de mesures des forêts intactes auprès des rivières car la typologie de la forêt y est sensiblement différente et l'on obtiendrait des biais lors des comparaisons de biomasse avec les zones mises à nues.

Le nombre de placettes à établir est calculé grâce à la formule de Pearson et al. (2005) ci-dessous:

$$n = \frac{t_{st}^2 \cdot (CV\%)^2}{(E\%)^2 + \frac{t_{st}^2 \cdot (CV\%)^2}{N}}$$

n = nombre de placettes à établir

N = nombre maximal de placettes réalisables dans la zone d'étude

E = erreur relative acceptée sur la valeur de la biomasse aérienne (%)

CV = coefficient de variation de la valeur de la biomasse aérienne (%)

t_{st} = quantile de Student avec un intervalle de confiance de 95% et un degré de liberté de n-1

Équation 1: Détermination du nombre de placettes à échantillonner d'après Pearson et al. (2005)

La planification du nombre de placettes d'échantillonnage nécessite d'avoir une idée du coefficient de variation (CV) de la grandeur à prédire (ici le volume de bois). Le coefficient de variation d'une grandeur est le rapport de son écart-type sur sa moyenne, et quantifie donc sa variabilité. Dans le cadre de la planification de la mise en place des placettes, le coefficient de variation n'a pas besoin d'être connu avec une très bonne précision : un ordre de grandeur suffit, dans la mesure où le coefficient de variation effectif (et donc la précision de l'estimation) sera calculé dans la phase de traitement des données.

La taille de l'échantillon est estimée pour les différentes strates en admettant 10% d'erreur relative (intervalle de confiance de 95%). Ensuite pour chaque strate on détermine le nombre de placette nécessaire en pondérant par les superficies correspondantes.

Les paramètres à déterminer préalablement à l'inventaire sont donc :

- L'erreur désirée sur la quantité de biomasse (généralement 10 à 15 %)
- La surface de référence pour cette erreur
- Le coefficient de variation de la variable (biomasse)

Par ailleurs, les mesures de carbone étant rapportées sur une projection horizontale, on utilise un

facteur de correction pour la constitution des placettes se situant sur une zone de pente. L'angle de la pente doit être mesuré en utilisant un clinomètre et si la pente est supérieure à 10%, elle doit être ajustée à la surface de la placette.

- Placettes pour estimer les dommages collatéraux :

Voir annexe X.

Fréquence des mesures

PARAMETRES	DONNEES	MODES D'ACQUISITION	FREQUENCE
Stocks de carbone des forêts avant exploitation	H, DHP, D, équation allométrique	Mesures de terrain et/ou littérature	Une fois avant le démarrage du programme, puis tous les 5 ans
Emprise spatiale des infrastructures d'exploitation	Superficie pistes principales, pistes secondaires et parcs à grumes. Ouverture de la canopée = disparition totale ou partielle de la végétation	Télédétection + Tracé des pistes en routine après exploitation (GPS) + mesure de largeur des pistes secondaires	Annuellement
Dégâts d'exploitation	Superficie des trouées d'abattage	Télédétection	Annuellement
Damage collatéraux	arbres exploités, arbres morts ou arbres blessés avec chacun un code spécifique selon l'intensité des blessures	Mesures de terrain	Une fois avant le démarrage du programme
Pourcentage de rémanents laissé sur site après abattage des arbres	Biomasse totale - Biomasse grume	Calcul et équation allométrique d'après les données du volume exploité et de la biomasse aérienne initiale	Annuellement
Volumes exploités	Volume de grumes réellement sorties	Autorisations de circulation de grumes attribuées par l'administration	Annuellement
Pourcentage de transformation et types de produits bois	Taux d'utilisation et durée de vie	Littérature + site IPT	Une fois avant le démarrage du programme
Régénération après exploitation sur assiette de coupe	Accroissement et recrutement des nouvelles tiges	Littérature et mesures de placettes permanentes	Tous les 5 ans
Taux de décomposition du bois mort issu de l'exploitation	% de biomasse ligneuse fine et biomasse ligneuse grossière Taux de décomposition	Littérature	Une fois avant le démarrage du programme
Durée de vie des produits bois	Taux de décomposition par type de produit bois	Littérature	Une fois avant le démarrage du

Tableau 8 : fréquence de mesure des paramètres de suivi de l'impact carbone de l'exploitation forestière

Application du protocole

Stratification des zones affectées par l'exploitation et estimation des dégâts correspondants

A partir de l'analyse bibliographique et de la connaissance des forêts exploitées, le protocole de mesure des impacts de l'exploitation repose sur les principes suivants :

- Mise en place d'une stratification de la parcelle après exploitation en fonction de l'intensité de perturbation. On distingue 3 classes :
 - Zones impactées sans végétation au sol et avec ou sans ouverture de la canopée ; il s'agit des différents types d'impacts : trouées d'abattage, aire de stockage des grumes, pistes principales et secondaires
 - Zone impactée avec un mélange d'arbres morts, blessés et vivants. Ces zones se trouvent en périphérie de chaque zone de la classe précédente ; Il s'agit de zones tampons.
 - Zone non perturbée par l'exploitation ;

La stratification correspond au découpage au sein d'une parcelle en différentes classes et sous-classes et au calcul de la surface correspondante.

- Association d'un **coefficient de dégâts** indiquant la quantité de biomasse perdue par unité de surface pour la classe (et sous classe) correspondante.

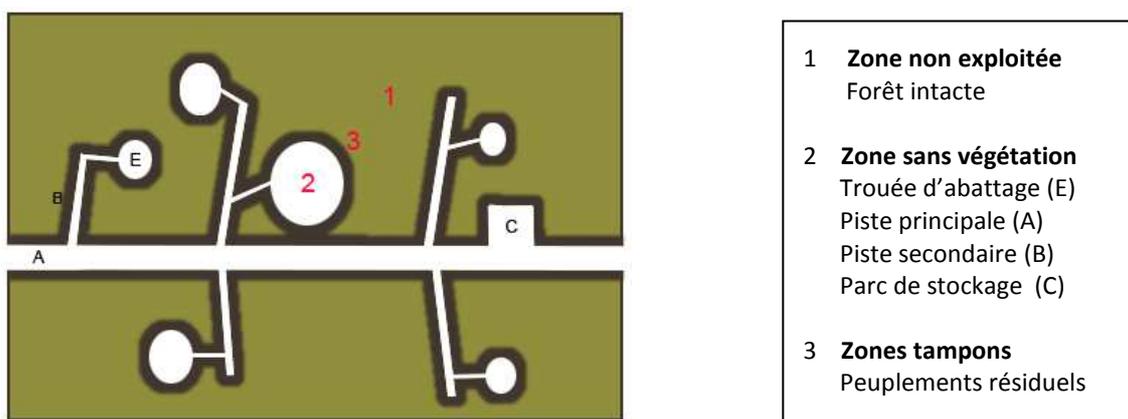


Figure 12 : Représentation des trois strates définies au sein de la parcelle d'exploitation

On considère les trouées comme des zones sans végétation au sol, car même s'il reste des branchages grossiers, le bois étant mort il ne présente plus aucun signal et l'image satellite montre une zone de sol nu.

Pour les pistes principale et secondaire les observations montraient des dégâts de type et d'intensité différents. Il a donc été décidé de les mesurer séparément. Dans le cas où les trouées se trouvent en

bordure de la piste principale et qu'il est donc difficile de distinguer la limite entre les deux impacts, on applique la limite de la trouée sur toute la zone concernée.

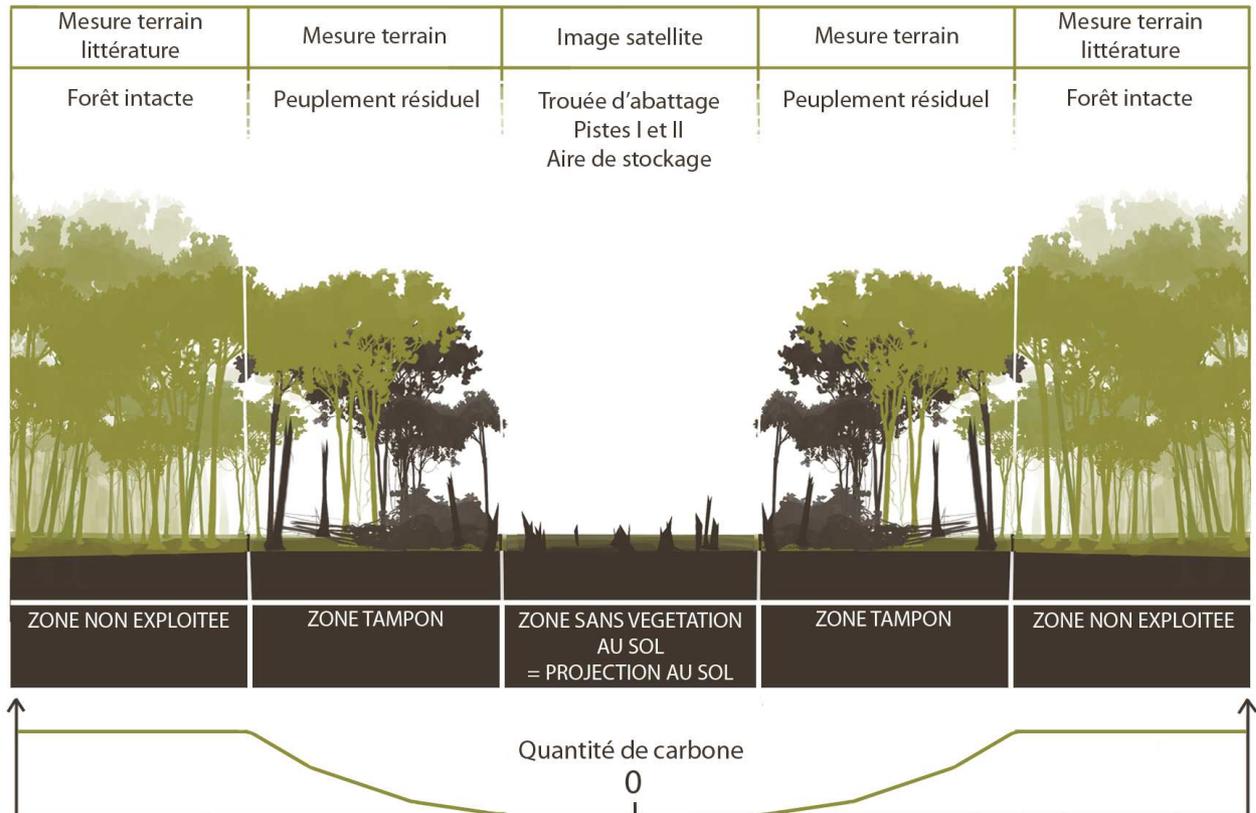


Figure 13 : représentation des différentes zones après stratification

Obtention des données

- Les stocks de carbone des forêts avant exploitation

Les données collectées afin d'estimer les dégâts d'exploitation collatéraux dans les zones affectées indirectement par les infrastructures et trouées fournissent des estimations locales de biomasse et stocks de carbone des forêts avant exploitation sur les deux sites étudiés.

- Estimation des surfaces des zones sans végétation

Comme vu précédemment, les méthodes de télédétection permettent d'identifier les surfaces des trouées, pistes principales et aires de stockage des grumes. Pour les pistes secondaires, des relevés au GPS du tracé de pistes en routine sont réalisés sur le terrain de même que des mesures de la largeur moyenne de pistes. La largeur moyenne de la piste secondaire est obtenue d'après 25 mesures réalisées de manière systématiques le long des pistes secondaires sur un échantillon représentatif de la parcelle.

Le protocole a été appliqué sur un seul des deux cas pilotes : l'assiette de coupe de l'exploitation Nossa Senhora Aparecida, d'une surface de 354 ha. La surface affectée est de 39,7 ha, soit 11,2% de la surface totale de l'assiette de coupe.

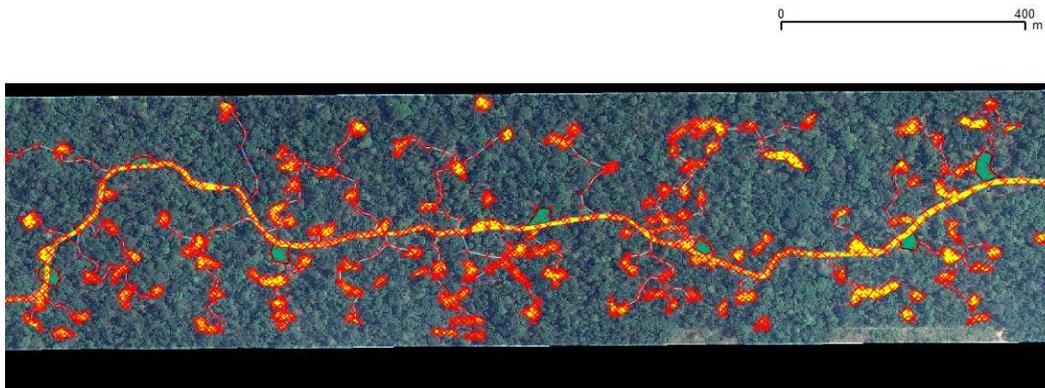


Figure 14 : Représentation des dégâts d'exploitation de l'exploitation Nossa Senhora Aparecida sur l'image satellites Pleiades

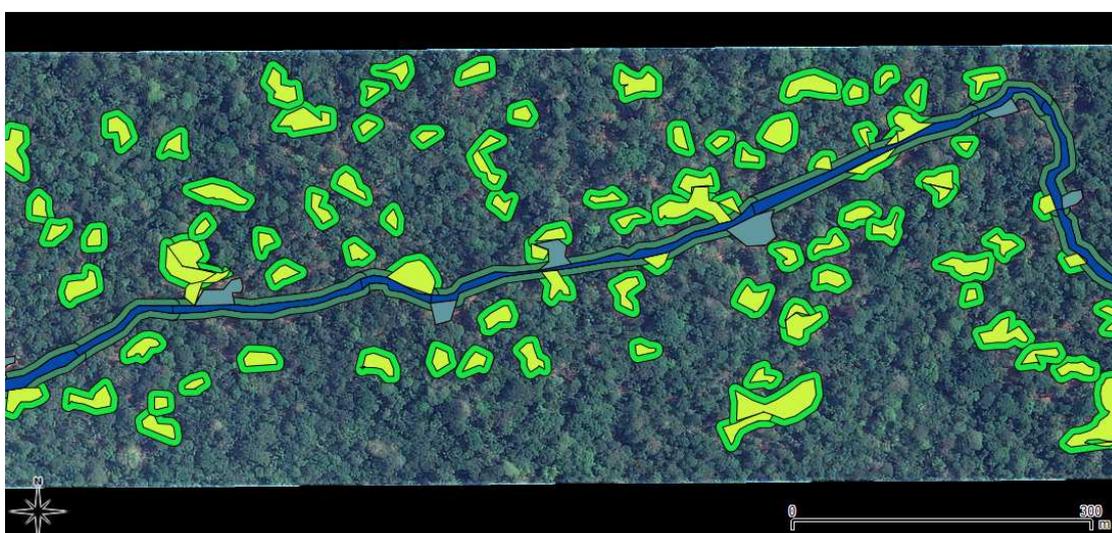


Figure 15 : Représentation des trouées et de la piste principale et de leur zone tampon.

- Estimation des surfaces des zones tampon

Les mesures de terrain réalisées dans la zone de Cotriguaçu ont permis d'estimer l'étendue de la zone tampon affectée par des dégâts collatéraux autour des trouées, des pistes principales, des pistes secondaires et des parcs de stockage des grumes. On considère ici les dégâts par toutes traces, marques et blessures occasionnées par l'exploitation donc par les machines ou par les arbres abattus.

Les mesures se sont déroulées en juillet et août 2012 sur 2 sites distincts, *Nossa Senhora Aparecida (NSA)* et *São Geraldo (SG)* où l'exploitation avait débuté en juin 2012. Des placettes de mesure ont été mises en place en bordure de chacun des quatre types d'impacts (Voir annexe). Conformément aux recommandations des méthodologies VCS, la mesure du diamètre était effectuée à 1m30. Chaque placette mesurait 10 m de large et était d'une longueur variable correspondant à la limite de la fin des dégâts. Entre 20 et 60 placettes ont été installées pour chaque type d'impact dans chacune des deux zones d'étude. Le diamètre de précomptage débutait à 10 cm de Dhp pour permettre de comparer les résultats avec les études déjà réalisées. La taille des placettes étant variable, le nombre de placettes n'a pas été calculé selon la méthode conventionnelle avec la formule de Pearson et al

(Pearson & Brown 2005). Un nombre de placette minimum (20 pour chaque type de dégâts dans chaque exploitation) a été fixé puis adapté en fonction des résultats. Les mesures ont donc été réalisées à des intervalles différents et les données analysées entre chaque mesure afin de déterminer si les résultats étaient satisfaisants ou si une nouvelle collecte de données était nécessaire. La collecte des données a donc été réalisée en quatre temps, une journée d'observation, puis 3 semaines de terrain (au cours duquel l'équipe de mesure restait sur le plan d'exploitation) espacées chacune de 1 à 2 semaines. (Cf Annexe).

Type de zone tampon	Nossa Senhora Aparecida		São Geraldo		Deux sites	
	Limite moyenne (en ml)	Nb de placettes	Limite moyenne (en ml)	Nb de placettes	Limite moyenne (en ml)	Nb de placettes
Piste principale (A)	7,7 ± 0,8	51	2,7 ± 0,3	66	4,9 ± 0,4	117
Piste secondaire (B)	3,1 ± 0,5	33	3 ± 0,6	20	3,1 ± 0,4	53
Parc de stockage (C)	8,7 ± 1,1	29	7,2 ± 1	23	8,1 ± 0,8	52
Trouée d'abattage (E)	5,8 ± 0,6	36	6,5 ± 0,6	45	6,2 ± 0,4	81

Tableau 9 : Limites des zones tampon et nombre de placettes de mesures pour chaque type de dégâts

Dans le cas de la piste principale les écarts s'expliquent par la différence des techniques de débardage. En effet si les trouées d'abattage sont situées directement au bord des pistes principales comme dans le cas de la zone d'étude 1 alors la limite est proche des trouées d'abattage. Dans le cas de la zone d'étude 2, étant donné que les trouées étaient éloignées de la piste principale, on se trouvait plus proche du cas des pistes secondaires.

En se basant sur les superficies des zones affectées sans végétation, on calcule la surface de la zone tampon autour de chaque type de dégâts en suivant les données obtenues (en m linéaire) dans le tableau ci-dessus.

Les limites à suivre pour le calcul des surfaces des zones tampons B, C et E sont les moyennes obtenues pour les deux zones d'études. Dans le cas des pistes principales, la limite utilisée sera 2,6 m et dans le cas où la trouée est directement sur la piste principale, on utilise la distance de 6 m correspondant à E. La surface de chaque zone tampon est ensuite calculée sous SIG à l'aide de l'outil « buffer », en se basant sur les limites données dans le tableau ci-dessus.

Surface affectée	Zones sans végétation		Zones tampon	
	Surface (ha)	% de la surface totale de l'assiette de coupe	Surface (ha)	% de la surface totale de l'assiette de coupe
Piste principale (A)	8,7	2,5	20,8	5,9
Piste secondaire (B)	7,1	2,0	14,7	4,2
Parc de stockage (C)	2,5	0,7	5,0	1,4
Trouée d'abattage (E)	21,4	6,0	38,2	10,8
Total	39,7	11,2	78,7	22,2

Tableau 10 : surfaces des zones sans végétation et des zones tampon

- Estimation des coefficients de dégâts dans les zones sans végétation

Le carbone émis correspond à une estimation de la quantité moyenne de carbone de la forêt avant exploitation dans les surfaces correspondant aux zones impactées sans végétation.

On utilise des données collectées par ICV.

	Stocks de carbone (tC/ha)
Biomasse aérienne ligneuse	124 ± 14
Palmes	4 ± 1
Lianes	0,3 ± 0,1
Biomasse aérienne (total)	129 ± 13
Bois mort sur pieds	4,4 ± 1,2
Bois mort au sol	13,2 ± 2,5
Bois mort (total)	17,6
Biomasse souterraine	27 ± 2,7
Biomasse totale	173

Tableau 11 : Stocks de carbone des forêts de Cotriguaçu (ICV)

- Estimation des coefficients de dégâts dans les zones tampon

Les mesures réalisées sur les deux sites ont d'estimer un pourcentage de dégâts au sein des trouées d'abattage, des pistes principales, des pistes secondaires et des aires de stockage des grumes (Voir annexe).

Au sein des placettes décrites ci-dessus, tous les arbres vivants, sur pied ou au sol de plus de 10 cm de Dhp (diamètre à hauteur de poitrine) ont été mesurés, le statut vital noté (sain/abîmé) et les éventuelles blessures liées à l'exploitation ont été codées selon leur intensité. Les types de dégâts sont distingués selon leur localisation sur l'arbre : houppier (DC) et tronç (DT) et ils sont chacun divisés en trois sous-catégories d'intensité croissante 1, 2 et 3 (Voir annexe). Pour les calculs finaux, DT3 et DC3 sont considérés létaux. Les individus annotés ainsi sont donc comptabilisés comme bois mort.

L'estimation des stocks de biomasse vivante (en t de C/ha) dans les zones exploitées est réalisée en utilisant une méthodologie similaire à celle utilisée dans les zones hors exploitation (voir annexe). La seule différence est l'utilisation de l'équation allométrique proposée par Chambers et al. (Chamber et al. 2001) et modifiée par Baker et al. (Baker et al. 2007) pour l'estimation de la biomasse vivante au-dessus du sol, plutôt que de l'équation allométrique développée par Nogueira et al. (Nogueira et al. 2008). L'équation allométrique développée par Chambers et al. (2001) et modifiée par Baker et al. (2007) retient comme variable indépendante la densité spécifique du bois, nécessaire dans les zones dégradées qui peuvent présenter une forte densité d'espèces à croissance rapide et à faible densité de bois. Cette équation allométrique ayant été développée pour les zones forestières en Amazonie centrale, les corrections de la hauteur et de la densité proposée par Nogueira et al. (2008) y ont été intégrées. Les valeurs de densité du bois utilisé ont été extraites de la base de données générale des densités spécifiques de bois (Global wood density database, Chave et al., 2009).

Forme de vie	Équation allométrique	Source
--------------	-----------------------	--------

Arbres	$(D/0,67*(\exp(0,33*\ln(Dhp))+0,933*\ln(Dhp)^2-0,122*\ln(Dhp)^3-0,37)))^*0,84$	Baker & al (2007)
Palmiers	$(\exp(0,9285*\ln(Dhp^2))+5,7236)*1,05001)/10^3$	Nascimento & Laurence (2002)

Avec AGB arbres et palmiers en kg et Dhp: diamètre à hauteur de poitrine en cm.

Tableau 12: Equations allométriques utilisées pour estimer la biomasse sèche (AGB) de chaque individu :

La biomasse moyenne a été obtenue d'après la mesure de tous les arbres vivants dans la zone tampon délimitée. La future biomasse perdue correspond aux arbres étant gravement blessés et allant mourir dans l'année suite à leurs blessures (intensité de dégâts code 3).

Fazenda Nossa Senhora Aparecida				
Type de zone tampon	Biomasse Moyenne t/ha	Biomasse après mortalité t/ha	Biomasse perdue t/ha	% de biomasse perdue
Piste principale (A)	249,1 ± 33,2	231,9 ± 32,9	17,2 ± 5,8	8,5
Piste secondaire (B)	248,6 ± 45,7	220,7 ± 44,2	27,9 ± 25,3	11,3
Aire de stockage (C)	278,9 ± 36,3	254,6 ± 36,3	24,3 ± 8,8	10,2
Trouée (E)	225,7 ± 25,3	195 ± 23,5	30,6 ± 10,9	11,9
Toutes zones confondues				10,5

Fazenda São Geraldo				
Type de zone tampon	Biomasse Moyenne t/ha	Biomasse après mortalité t/ha	Biomasse perdue t/ha	% de biomasse perdue
Piste principale (A)	343,7 ± 60,6	313,9 ± 59,6	29,8 ± 20,2	8,6
Piste secondaire (B)	265,1 ± 50,8	233,6 ± 53,7	31,5 ± 20,2	8,1
Aire de stockage (C)	220,1 ± 32,9	198,9 ± 31,9	21,2 ± 9,0	9,8
Trouée (E)	278 ± 28,8	246,2 ± 30,5	31,7 ± 14,5	14,4
Toutes zones confondues				10,2

Tableau 13 : Perte de biomasse pour chaque type de dégâts pour les deux exploitations

Après analyse statistique on peut affirmer que l'intensité des dégâts entre les différentes zones A, B, C, E est remarquablement homogène. En termes de perte de biomasse, l'impact des dégâts est d'environ 10,3 % dans les deux zones pour toutes les zones tampon.

- Biomasse des grumes commercialisées

La quantité de biomasse des grumes commercialisables est calculable d'après le facteur du volume et de la densité de chaque espèce spécifiée dans le plan d'aménagement (PMF). Cependant, le volume de bois commercialisable indiqué dans le PMF ne correspond pas au volume réellement commercialisé du fait des grumes laissées sur place par l'exploitant. Il serait donc plus fiable d'utiliser les données issues des autorisations de circulation de grumes délivrées à l'exploitant par l'administration. En l'absence de ces données, nous avons fait l'hypothèse d'une intensité de récolte

de 20 m³ par ha, taux moyen observé dans la zone de Cotriguaçu. On multiplie ce volume par la densité moyenne pondérée par les volumes des espèces indiquées dans le plan d'aménagement afin d'obtenir la biomasse des grumes commercialisées.

Sur le site de NSA, la biomasse des grumes commercialisées est ainsi estimée à 2 248 tonnes carbone.

- Pourcentage de rémanents laissés sur site après abattage des arbres

Le pourcentage de rémanents laissés sur site après abattage des arbres est estimée en soustrayant de la biomasse totale des trouées d'abattage la biomasse de grumes commercialisée.

Site de NSA	Valeur	Unité
Surface des trouées d'abattage	21,4	Ha
Biomasse par ha des trouées d'abattage	268	tC/ha
Biomasse aérienne totale dans les trouées d'abattage	2 868	tC
Biomasse des grumes commercialisées	2 248	tC
Biomasse des rémanents	620	tC
% des rémanents sur la biomasse totale	8,9	%

Tableau 14 : Estimation des rémanents laissés sur site après abattage

- Taux de décomposition du bois mort issu de l'exploitation

Pour estimer la décomposition du bois mort, il est important de séparer la biomasse ligneuse fine (FWB) qui se décompose rapidement (feuilles, brindilles et les branches de petit diamètre), de la biomasse ligneuse grossière, qui se décompose plus lentement (LWB) (Chamber et al. 2001), (Keller et al. 2004).

Le pourcentage représenté par les FWB et LWB a été déterminé d'après la moyenne de la totalité des arbres exploités auquel on a appliqué l'équation allométrique de Nogueira séparant la couronne (FWB) et le fût de l'arbre (LWB).

Modelo	Parâmetros ^a						n	r ² ajustado	SEE ^c		
	α (\pm SE)		95% IC ^b		β (\pm SE)					95% IC ^b	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior				Limite inferior	Limite superior
Árvore inteira	- 1,716 (0,079)	- 1,872	- 1,560	2,413 (0,029)	2,357	2,470	262	0,964	0,306		
Fuste	- 1,929 (0,093)	- 2,111	- 1,746	2,335 (0,034)	2,269	2,402	262	0,949	0,359		
Copa	- 3,355 (0,146)	- 3,642	- 3,069	2,578 (0,053)	2,474	2,682	261	0,901	0,564		

Avec $(\ln(\text{poids sec}) = \alpha + \beta \ln(\text{Dhp}))$ pour les arbres étudiés en forêts ouvertes du sud de l'Amazonie (SA) (variation du diamètre 5-124 cm)

Tableau 15 : Paramètres de l'équation de la biomasse aérienne (Nogueira et al. 2008)

Les parties fine FWB représentent ainsi 10 % de la biomasse totale de l'arbre et les parties grossières LWB 90% si l'on se base sur les données des inventaires pré exploitation de la zone de Cotriguaçu.

Le taux de décomposition de FWB est basé sur une formule de décroissance exponentielle $M_t = M_0 e^{-k t}$. Il est déterminé d'après la littérature. On suppose que FWB se décompose rapidement, avec $k_{FWB} = 0,501$ (Eaton 2001).

Concernant K_{LWB} nous nous basons sur la formule proposée par Chambers et al. (2000) et prenant en compte la densité moyenne de toutes les espèces échantillonnées au sein de l'exploitations.

$$K_{LWB} = (0.918 - 0.738 * WSG_{\text{moy exploitation}})$$

Le taux le plus faible de décomposition est limité à 2% par an (Chambers et al. 2000).

- Taux de transformation et types de produits bois

Le taux de transformation des grumes en scierie et les types de produits bois doivent être déterminés pour connaître la quantité de carbone qui sera stockée dans les produits bois et celle qui sera émise directement au cours du processus de transformation. On se base sur des données de la littérature (voir site de l'IPT : <http://www.ipt.br>) ou sur des enquêtes dans les scieries.

Sur la base d'entretiens avec les principaux acteurs du secteur, nous avons estimé le taux de transformation à 55% pour la zone de Cotriguaçu. Les 45% perdus sont considérés comme oxydés et émis dans l'atmosphère instantanément.

Les produits bois de la région sont tous destinés à la construction et sont classifiés comme bois scié ou panneaux bois.

- Régénération après exploitation de l'assiette annuelle de coupe

En l'absence de données plus locales, on utilise les données issues du site de Paracou en Guyane Française.

Nombre d'années après exploitation	Croissance AGB en t/ha/an	Recrutement AGB en t/ha/an
-2 - 0	4,50 ± 1,5	0,36 ± 0,3
0 - 2	5,12 ± 0,8	0,33 ± 0,1
2 - 4	6,20 ± 1,0	0,68 ± 0,3
4 - 6	5,57 ± 0,9	1,10 ± 0,6
6 - 8	5,88 ± 0,9	0,55 ± 0,3
8 - 11	5,83 ± 1,1	0,98 ± 0,3
11 - 15	5,58 ± 0,8	1,17 ± 0,3
15 - 19	6,17 ± 1,1	0,67 ± 0,2
19 - 23	4,84 ± 1,2	0,35 ± 0,1

Tableau 16: Croissance et recrutement Biomasse aérienne moyenne (écart-type) sur le site de Paracou (Sist et al. 2012) :

- Taux de décomposition par type de produit bois

La perte de carbone doit être modélisée comme suit (VM0010) :

- Pour les produits bois à court terme et les déchets de bois qui se désintègrent dans les 3 ans, tout le carbone doit être considéré comme perdu immédiatement.
- Pour les produits bois à moyen terme qui sont retirés entre 3 et 100 ans, une fonction de décroissance linéaire de 20 ans doit être appliquée.
- Pour les produits bois à long terme qui sont considérés comme permanents (c'est-à-dire que le carbone est stocké pendant 100 ans ou plus), on peut supposer qu'il n'y a pas de carbone libéré (AFOLU Requirements, 2012).

Nous avons suivi les étapes suivantes :

ETAPE 1 : Déterminer la proportion de perte lors de la conversion d'une grume en produits bois

d'après la littérature ou les entretiens avec les gérants des scieries (45%). La perte est considérée comme étant oxydée au cours de l'année de l'exploitation.

ETAPE 2 : Mettre en application la proportion de produits bois estimée durer plus de cinq ans : 0.8 pour le bois scié, 0.9 pour les panneaux de bois, 0.7 pour le bois rond industriel et, 0.6 pour le papier cartonné. Le reste est oxydé.

ETAPE 3 : Pour chaque année successive de la vie du projet, calculer la proportion oxydée en utilisant les taux de décomposition spécifique pour les régions tropicales.

Commodité	Taux de décomposition
Bois scié	0,02
Panneaux à base de bois	0,04
Autres bois ronds industriels	0,08
Papiers et cartons	0,1

Tableau 17 : Taux de décomposition des différentes commodités (Winrock)

Calcul des émissions et absorptions

- Sur une assiette annuelle de coupe

Le calcul des émissions et absorptions a été réalisé sur le cas d'étude de l'assiette de coupe de l'exploitation Nossa Senhora Aparecida, d'une surface de 414 ha, dont 354 ha exploités.

Les calculs sont réalisés sur Excel. A partir des données obtenues sur le terrain et dans la littérature, on estime :

1. les flux depuis les compartiments de biomasse vivante (aérienne et souterraine) vers l'atmosphère (émissions de carbone instantanées), les compartiments bois mort et produits bois ;
2. les émissions de carbone depuis les compartiments bois mort et produits bois au cours du temps en fonction de leurs taux de décomposition respectifs ;
3. Les absorptions.

Les émissions et absorptions de carbone de l'assiette de coupe sont ainsi estimées année par année sur l'ensemble de la durée de rotation, fixée à 20 ans.

1. les flux depuis les compartiments de biomasse vivante (aérienne et souterraine) vers l'atmosphère (émissions de carbone instantanées), les compartiments bois mort et produits bois :

Pertes de stocks de carbone de la biomasse vivante aérienne et souterraine			
Strates	Stocks de Carbone (tC) de la biomasse vivante (AGB + BGB)	Stocks de carbone perdus (tC)	% de stocks de carbone perdus
Zones nous affectées	47 889	-	0%
Piste principale (A)	1 411	1 411	100%
Piste principale (A) - zone tampon	3 386	349	10%
Piste secondaire (B)	1 151	1 151	100%
Piste secondaire (B) - zone tampon	2 411	248	10%
Aire de stockage (C)	405	405	100%
Aire de stockage (C) - zone tampon	804	83	10%
Trouée (E)	3 470	3 470	100%
Trouée (E) - zone tampon	6 199	638	10%
Toutes zones confondues	67 126	7 755	11,6%

Tableau 18 : pertes de stocks de carbone de la biomasse vivante pour une année sur une assiette annuelle de coupe de 414 ha

Destination des stocks de carbone de biomasse vivante perdus		
	Stocks de C (tC)	% du total perdu
Bois mort	5 508	71,0%
Grumes	2 248	29,0%
- dont déchets de scierie	1 011	13,0%
- dont produits bois	1 236	15,9%
Total	7 755	100,0%

Tableau 19 : destination des stocks de carbone de la biomasse vivante pour une année sur une assiette annuelle de coupe de 414 ha

- les émissions de carbone depuis les compartiments bois mort et produits bois au cours du temps en fonction de leurs taux de décomposition respectifs :

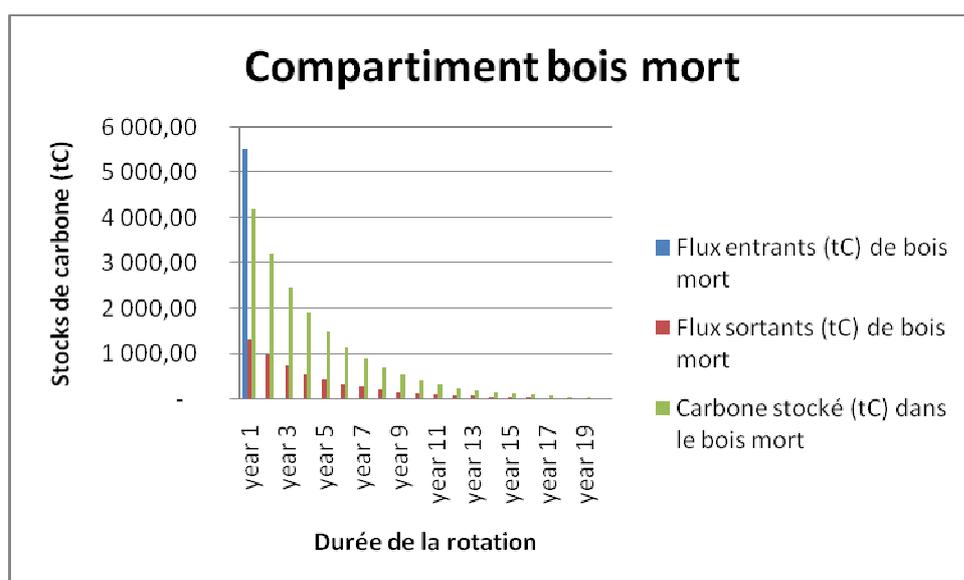


Figure 16 : émissions de carbone du compartiment bois mort pour une AAC de 414 ha

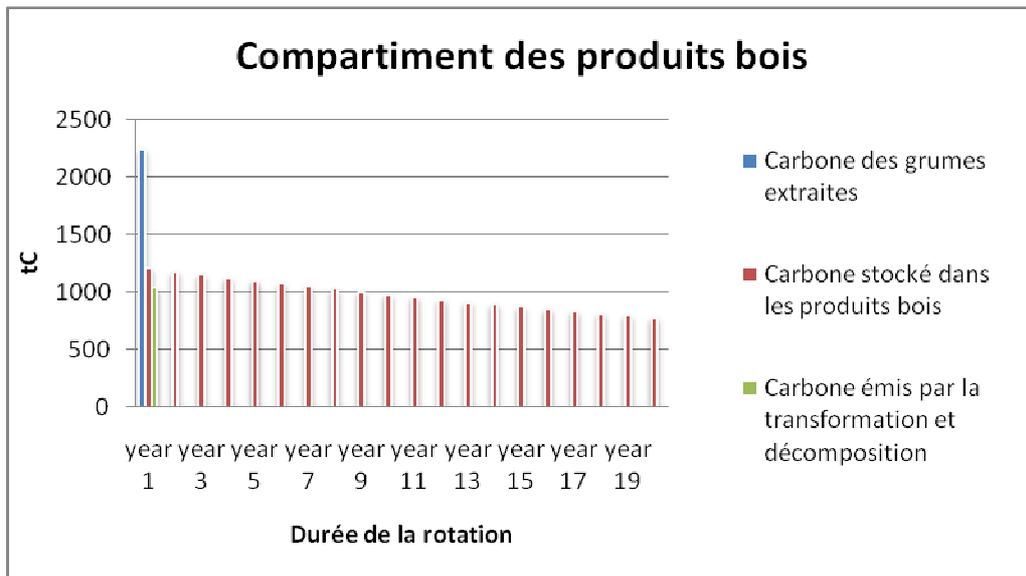


Figure 17 : émissions de carbone du compartiment produits bois pour une AAC de 414 ha

3. les absorptions :

Les données de régénération sont appliquées aux zones qui ont été perturbées par l'exploitation : infrastructures et trouées. On ne prend pas en compte la séquestration de carbone par les zones non perturbées par l'exploitation, car une séquestration équivalente aurait eu lieu sans exploitation forestière. On ignore également les zones tampon, en faisant l'hypothèse que le pourcentage limité de pertes (10,3%) de biomasse n'induit pas un changement significatif de croissance après l'exploitation. Cette omission est conservatrice.

On se base sur les données obtenues sur le site expérimental de Paracou en Guyane Française, avec un taux de régénération (accroissement et recru) de 3,26 tC par ha et par an pendant les 20 premières années suivant l'exploitation.

Le tableau ci-dessous présente les flux annuels d'émissions et absorptions exprimées en tonnes de carbone pour l'ensemble de l'assiette annuelle de coupe sur la durée de la rotation.

	Déchets de scierie (tC)	Oxydation des produits bois (tC)	Oxydation du bois mort (tC)	Total des émissions (tC)	Régénération	Emissions nettes (tC)
Année 1	1 011	28	1 315	2 355	129	2 225
Année 2	-	27	979	1 007	129	877
Année 3	-	27	737	764	129	634
Année 4	-	26	559	586	129	456
Année 5	-	26	428	453	129	324
Année 6	-	25	329	354	129	225
Année 7	-	24	254	279	129	149
Année 8	-	24	197	221	129	92
Année 9	-	23	154	177	129	47
Année 10	-	23	120	143	129	13
Année 11	-	22	94	116	129	- 14
Année 12	-	22	73	95	129	- 34
Année 13	-	21	57	79	129	- 51
Année 14	-	21	45	66	129	- 64
Année 15	-	20	35	56	129	- 74
Année 16	-	20	28	48	129	- 82
Année 17	-	19	22	41	129	- 88
Année 18	-	19	17	36	129	- 93
Année 19	-	19	13	32	129	- 97
Année 20	-	18	11	29	129	- 101
Total	1 011	456	5 469	6 936	2 590	4 346
Total/année	51	23	273	347	129	217

Tableau 20 : émissions nettes sur l'AAC pour l'ensemble des 20 ans de la durée de rotation

Au bout de dix années après l'exploitation, l'assiette de coupe cesse d'être émettrice nette de carbone.

Les émissions de carbone nettes sont de 217 tC/an pour l'ensemble de la surface, soit 10,5 tC/ha ou 0,52 tC/ha/an.

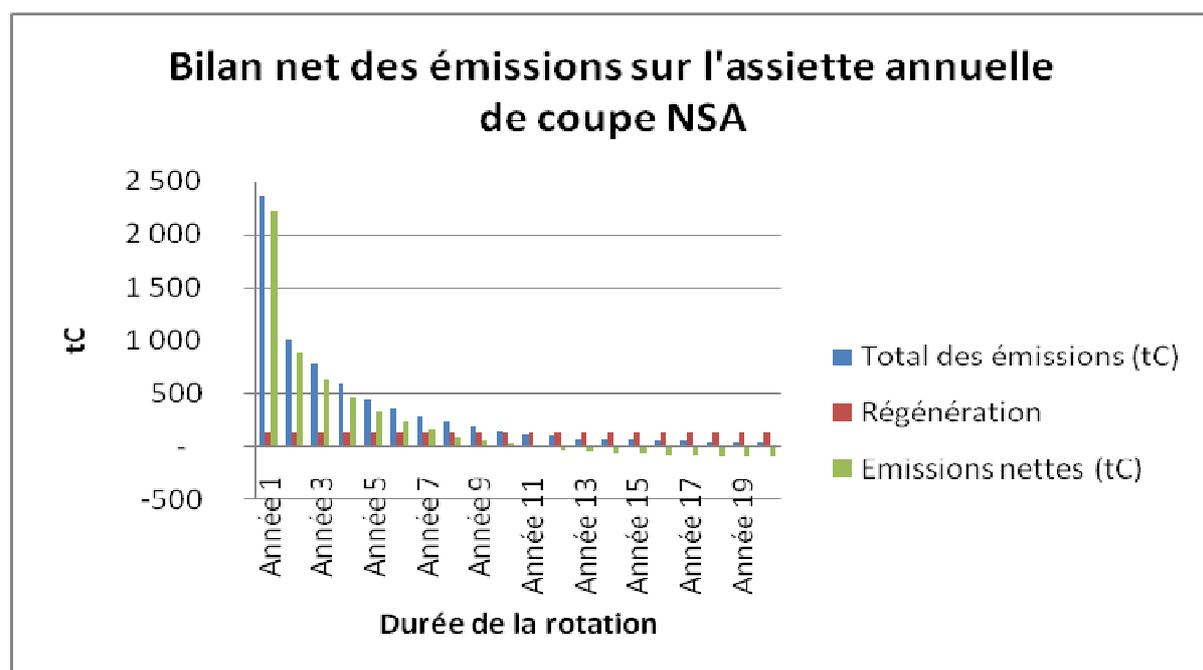


Figure 18 : bilan net des émissions sur l'AAC NSA (414 ha)

- Sur l'ensemble de la superficie aménagée

Les résultats présentés ci-dessus sont extrapolés à l'ensemble de la superficie aménagée en faisant l'hypothèse d'une rotation de 20 ans entre 20 assiettes annuelles de coupe d'une superficie de 414 ha, dont 354 ha sont exploités.

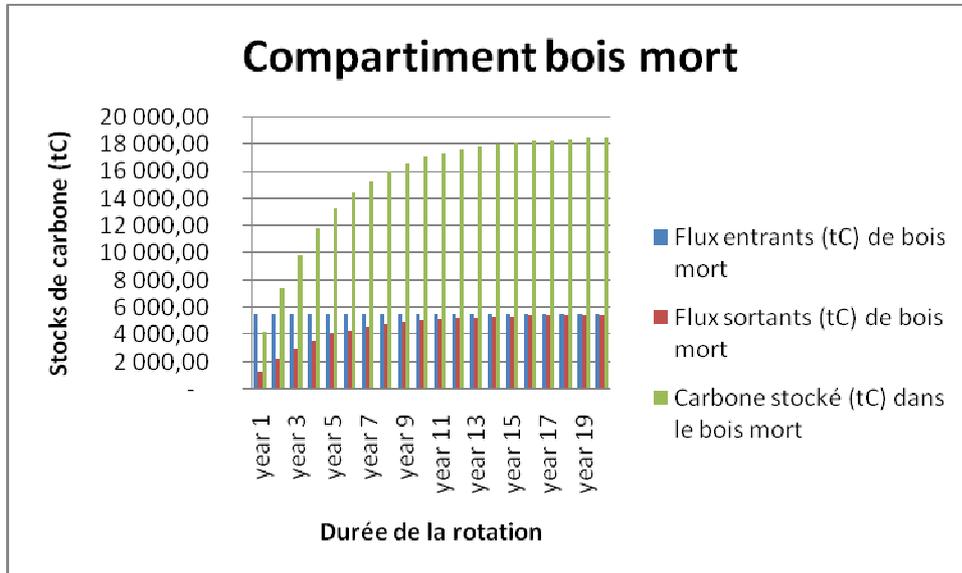


Figure 19 : émissions du compartiment bois mort sur l'ensemble de la surface aménagée

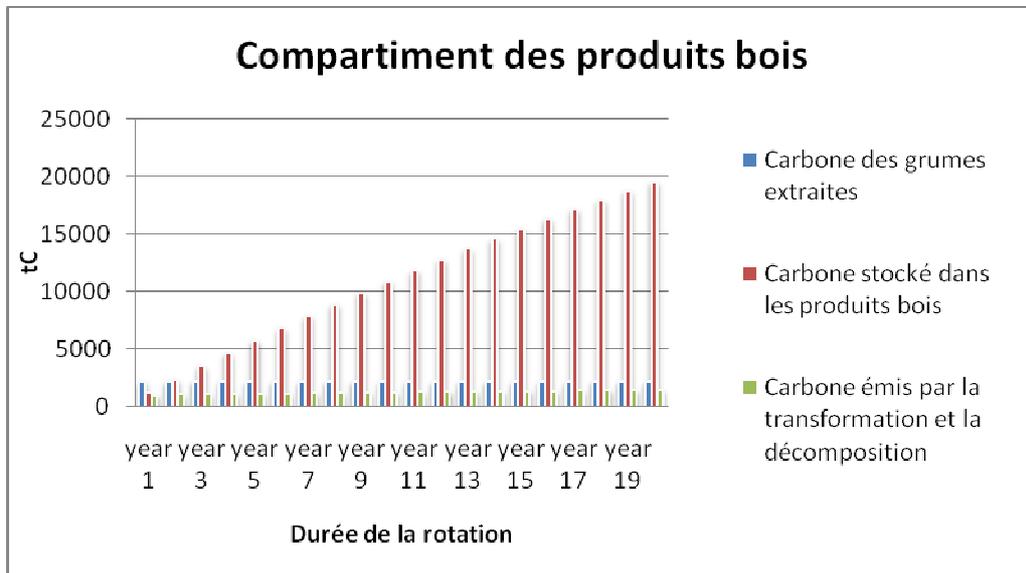


Figure 20 : émissions du compartiment produits bois sur l'ensemble de la surface aménagée

	Déchets de scierie (tC)	Oxydation des produits bois (tC)	Oxydation du bois mort (tC)	Total des émissions (tC)	Régénération	Emissions nettes (tC)
Année 1	1 011	28	1 315	2 355	129	2 225
Année 2	1 011	56	2 295	3 362	259	3 103
Année 3	1 011	82	3 032	4 126	388	3 737
Année 4	1 011	109	3 591	4 711	518	4 193
Année 5	1 011	134	4 019	5 165	647	4 517
Année 6	1 011	159	4 348	5 519	777	4 742
Année 7	1 011	184	4 603	5 798	906	4 891
Année 8	1 011	208	4 800	6 019	1 036	4 983
Année 9	1 011	231	4 953	6 196	1 165	5 031
Année 10	1 011	254	5 073	6 339	1 295	5 044
Année 11	1 011	276	5 167	6 455	1 424	5 030
Année 12	1 011	298	5 240	6 550	1 554	4 996
Année 13	1 011	319	5 298	6 629	1 683	4 945
Année 14	1 011	340	5 343	6 694	1 813	4 882
Année 15	1 011	361	5 378	6 750	1 942	4 808
Année 16	1 011	381	5 406	6 798	2 072	4 726
Année 17	1 011	400	5 428	6 839	2 201	4 638
Année 18	1 011	419	5 445	6 875	2 331	4 545
Année 19	1 011	438	5 458	6 907	2 460	4 447
Année 20	1 011	456	5 469	6 936	2 590	4 346
Total	20 228	5 133	91 660	117 022	27 191	89 830
Total/année	1 011	257	4 583	5 851	1 360	4 492

Tableau 21 : Emissions nettes sur l'ensemble de la surface aménagée et sur l'ensemble de la rotation.

Les émissions de carbone nettes sont de 4 492 tC/an pour l'ensemble de la surface, soit 10,85 tC/ha ou 0,54 tC/ha/an.