



# 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

Nicolas Grondard  
Laura Pavoine  
Soraya Molina  
Maxence Rageade  
Oriane Pledran  
Richard Eba'a Atyi



# **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**

**Nicolas Grondard**

ONF International

**Laura Pavoine**

ONF International & AgroParisTech ENGREF

**Soraya Molina**

ONF International & Université de Bordeaux 1

**Maxence Rageade**

ONF International & CERDI

**Oriane Pledran**

ONF International & Université de Clermont-Ferrand

**Richard Eba'a Atyi**

Centre de recherche forestière internationale (CIFOR)

Document de Travail 129

© 2013 Centre de recherche forestière internationale (CIFOR)

Le contenu de cette publication est soumis à une licence des Creative Commons Attribution NonCommercial-NoDerivs 3.0

Grondard N, Pavoine L, Molina S, Rageade M, Pledran O et Atyi RA. 2013. *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*. Document de travail 129. Bogor, Indonésie : CIFOR.

Photographie de couverture : Ollivier Girard

View from the River Congo between Kinshasa and Lukolela, Democratic Republic of Congo.

CIFOR  
Jl. CIFOR, Situ Gede  
Bogor Barat 16115  
Indonésie

T +62 (251) 8622-622

F +62 (251) 8622-100

E [cifor@cgiar.org](mailto:cifor@cgiar.org)

**[cifor.org](http://cifor.org)**

Nous tenons à remercier tous les donateurs qui ont soutenu cette recherche avec leurs contributions au Fonds du CGIAR. Pour une liste des donateurs au Fonds, s'il vous plaît voir: <https://www.cgiarfund.org/FundDonors>.

Tous les points de vue figurant dans cet ouvrage sont ceux des auteurs. Ils ne représentent pas forcément les points de vue du CIFOR, des responsables de la rédaction, des institutions respectives des auteurs, des soutiens financiers ou des relecteurs.

# Table des matières

<b>Acronymes</b>	<b>vi</b>
<b>Résumé analytique</b>	<b>viii</b>
Paramètres économiques et financiers	ix
Paramètres carbone	x
Analyse de viabilité économique et financière	xiii
Limites de l'étude et points à approfondir	xvii
<b>1. Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Auteurs	1
<b>2. Présentation des objectifs de l'étude et de l'approche méthodologique adoptée</b>	<b>2</b>
2.1 Le projet et l'appui de FORAFAMA	2
2.2 La méthodologie de travail	3
<b>3. Estimation des coûts, revenus et flux de trésorerie des usages du sol</b>	<b>5</b>
3.1 Méthodologie employée	5
3.2 Secteur forestier	6
3.3 Secteur de l'élevage	8
<b>4. Estimation des émissions de carbone</b>	<b>11</b>
4.1 Evaluation du scénario de référence	11
4.2 Evaluation du scénario REDD	18
<b>5. Evaluation de la viabilité financière et économique du programme REDD</b>	<b>35</b>
5.1 Paramètres utilisés dans le modèle	35
5.2 Présentation des résultats en matière de réductions d'émissions de carbone	37
5.3 Présentation des résultats en matière de viabilité financière	38
5.4 Valeur économique des coûts d'opportunité	41
5.5 Analyse de sensibilité	42
<b>6. Bibliographie</b>	<b>46</b>

# Liste des figures et tableaux

## Figures

1	structure du modèle d'analyse coûts – bénéfices	4
2	charges opérationnelles des petites exploitations d'élevage en R\$/UGB	10
3	charges opérationnelles des petites exploitations d'élevage en R\$/ha	10
4	charges opérationnelles des grandes exploitations d'élevage en R\$/UGB	10
5	charges opérationnelles des grandes exploitations d'élevage en R\$/ha	10
6	Surface annuelle déboisée dans les propriétés privées de la Municipalité de Cotriguaçu	12
7	flux entre les compartiments de carbone liés à l'exploitation forestière	18
8	stratification des forêts exploitées dans le scénario de projet	21
9	Représentation des trois strates définies au sein de la parcelle d'exploitation	24
10	représentation des différentes zones après stratification	25
11	Représentation des dégâts d'exploitation de l'exploitation Nossa Senhora Aparecida sur l'image satellite Pleiades	25
12	Représentation des trouées et de la piste principale et de leur zone tampon.	26
13	émissions de carbone du compartiment bois mort pour une AAC de 414 ha	31
14	émissions de carbone du compartiment produits bois pour une AAC de 414 ha	32
15	bilan net des émissions sur l'AAC NSA (414 ha)	33
16	émissions du compartiment bois mort sur l'ensemble de la surface aménagée	33
17	émissions du compartiment produits bois sur l'ensemble de la surface aménagée	33
18	évolution des bénéfices financiers dans le temps pour le scénario de référence (BAU), le scénario (REDD) et le différentiel entre les deux scénarii (OC).	40
19	charges d'investissement initiales du scénario de référence et du scénario REDD	40
20	valeur des productions du scénario de référence (BAU) et du scénario REDD (REDD) et déficit du scénario de référence par rapport au scénario REDD (GAP).	41

## Tableaux

1	équipements utilisés pour l'exploitation forestière	7
2	Répartition des charges opérationnelles en R\$/ha et %	7
3	répartition des charges opérationnelles en R\$/m <sup>3</sup> et %	7
4	charges d'investissement de l'élevage (bâtiments des petites exploitations)	8
5	charges d'investissement de l'élevage (bâtiments des grandes exploitations)	8
6	charges d'investissement de l'élevage (équipements)	8
7	charges d'investissement de l'élevage (machines)	9
8	charges d'investissement de l'élevage (animaux, foncier, pâturages)	9
9	Couverture du sol dans les propriétés privées de la Municipalité de Cotriguaçu en 2012 (données PRODES)	12
10	Equations allométriques disponibles pour estimer la biomasse sèche des arbres, palmes et lianes dans les forêts de l'Amazonie méridionale (source : ICV).	13
11	Stocks de carbone des forêts de Cotriguaçu (données ICV)	13
12	Volumes de grumes autorisés entre 2006 et 2013 (données SEMA/SISFLORA)	14
13	couverture du sol dans les APP (2011)	16
14	calcul de la surface légalement disponible pour conversion	16
17	Résumé des activités émettrices de l'exploitation forestière et du mode d'acquisition des données correspondantes	20
18	Choix des compartiments pour l'estimation des émissions de carbone dues à l'exploitation forestière	21

19	Intensité d'échantillonnage selon la taille des parcelles	22
20	Fréquence de mesure des paramètres de suivi de l'impact carbone de l'exploitation forestière	23
21	Limites des zones tampons et nombre de placettes de mesures pour chaque type de dégâts	27
22	surfaces des zones sans végétation et des zones tampons	27
23	Equations allométriques utilisées pour estimer la biomasse sèche (AGB) de chaque individu	28
24	Perte de biomasse pour chaque type de dégâts pour les deux exploitations	28
25	Estimation des rémanents laissés sur site après abattage	29
26	Paramètres de l'équation de la biomasse aérienne (Nogueira et al. 2008)	29
27	Croissance et recrutement. Biomasse aérienne moyenne (écart-type) sur le site de Paracou (Sist et al. 2012)	30
28	Taux de décomposition des différents types de produits bois (Winrock)	30
29	pertes de stocks de carbone de la biomasse vivante pour une année sur une assiette annuelle de coupe de 414 ha (Vérifier Zones NOUS ??? affectées)	31
30	destination des stocks de carbone de la biomasse vivante pour une année sur une assiette annuelle de coupe de 414 ha	31
31	émissions nettes sur l'AAC pour l'ensemble des 20 ans de la durée de rotation	32
32	Emissions nettes sur l'ensemble de la surface aménagée et sur l'ensemble de la rotation.	34
33	surfaces des changements d'usage du sol du scénario de référence	36
35	stocks de carbone des divers usages du sol	36
36	émissions de CO <sub>2</sub> du scénario de référence.	38
37	émissions de CO <sub>2</sub> du scénario de projet.	38
38	coût d'opportunité net total du programme	39
39	profits actualisés et coûts d'opportunité par activité	41
40	paramètres utilisés pour prendre en compte la spéculation foncière	43
41	profits actualisés et coûts d'opportunité par activité en prenant en compte la spéculation foncière	43
42	réductions d'émissions, profits actualisés, TRI et coûts d'opportunité des différents scenarii REDD+	44

# Acronymes

AGLB	<i>Above Ground Living Biomass</i>
AGDB	<i>Above Ground Dead Biomass</i>
AFOLU	<i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i>
AUD	<i>Avoided Unplanned Deforestation</i>
AUMD	<i>Avoided Unplanned Mosaic Deforestation</i>
AUFD	<i>Avoided Unplanned Frontier Deforestation</i>
APD	<i>Avoided Planned Deforestation</i>
BGB	Biomasse racinaire ( <i>Below Ground Biomass</i> )
C	Carbone
CCBS	<i>Climate Community and Biodiversity Standard</i>
CERs	<i>Certified emissions reduction units</i>
CCNUCC	Convention cadre des nations unies sur le changement climatique
CIFOR	Centre de recherche forestière internationale
CIRAD	La recherche agronomique pour le développement
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
COP	Conférence des parties
DC	Domage sur la couronne
Dhp	Diamètre à hauteur de poitrine
DT	Domage sur le tronc
DW	Dead Wood
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FFEM	Fonds Français pour l'Environnement Mondial
FRM	Forêts Ressources Management
FWB	Partie bois fine ( <i>Fine wood biomass</i> )
GES	Gaz à effet de Serre
GIEC	Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HWP	Produits bois
IBAMA	Institut Brésilien pour l'environnement ( <i>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente</i> )
ICV	Institut du Centre de la Vie au Brésil (Instituto Centro de Vida)
IFM	Improved Forest Management (Gestion améliorée de la forêt)
IFT	Institut des Forêts Tropicales au Brésil (Instituto Floresta Tropical)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (GIEC)
IPT	<i>Instituto de pesquisas tecnologicas</i>
L	Litière
LDF	Coefficient de dégâts ( <i>Dammage Factor</i> )
LtPF	Logged to protected forest
LuluCF	<i>Land use, land use change and Forestry</i>
LWB	Partie bois grossière ( <i>large wood biomass</i> )
MEA	<i>Millenium Ecosystem Assessment</i>
MMA	Ministère de l'environnement au Brésil (Ministério de Meio Ambiente)
MRV	<i>Measuring, reporting and verification</i>
MS	Matière sèche
MT	Mato Grosso
NSA	Nossa Senhora Aparecida ( <i>fazenda</i> )
ONF	Office National des Forêts
ONFI	ONF International
PIN	<i>Project Idea note</i>

PMF	Plan d'aménagement forestier ( <i>Plan de manejo florestal</i> )
S	Sol
SEMA	Secrétariat spécial pour l'environnement ( <i>Secretaria Especial do Meio Ambiente</i> )
SIG	Système d'information géographique
SG	São Geraldo
REDD	<i>Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation</i>
REDD+	<i>Includes the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks</i>
TEREA	Terre Environnement Aménagement
TNC	<i>The Nature Conservancy</i>
UNFCCC	Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique
VCS	<i>Verified Carbon Standard</i>
Zt	Zone tampon

# Résumé analytique

Les massifs forestiers privés de la Municipalité de Cotriguaçu sont soumis à un processus intense de déboisement et de dégradation en raison du développement d'activités productives non durables. L'élevage bovin est caractérisé par une surcharge des pâturages, l'absence de sélection des animaux, le manque de soins vétérinaires et l'absence de gestion des ressources fourragères qui conduisent à une faible productivité et la dégradation des sols. L'élevage se développant à un rythme soutenu de 10% par an (sur la période 2000-2010) constitue donc la principale cause du déboisement dans la municipalité.

L'exploitation forestière est soumise à des normes de durabilité en termes de reconstitution de la ressource ligneuse et de la durée de rotation. Cependant, les pratiques illégales contournent couramment ces normes. Notons ainsi que l'exploitation formelle est peu développée dans la Municipalité au regard du potentiel existant : en 2010, seuls 11% de la surface potentiellement aménageable faisaient l'objet d'un plan d'exploitation formel. Enfin, des pratiques insuffisantes de planification de l'exploitation, d'abattage et de débardage ont un impact important sur le couvert forestier.

Les facteurs structurels expliquant en grande partie ces modes d'utilisation des terres sont les perspectives de spéculation foncière, le développement du marché de la viande, les difficultés administratives quant à l'obtention de permis d'exploitation forestière, l'absence de cadastre pour une partie des propriétés rurales.

Dans ce contexte, plusieurs institutions opérant dans la Municipalité ont joint leurs efforts en vue de développer un programme municipal REDD+ et des initiatives associées ayant pour objectif de lutter contre le déboisement et la dégradation des forêts telles que la mise en place d'un cadastre des propriétés rurales, la promotion d'un secteur forestier basé sur des pratiques de gestion durable et de faible impact, la promotion des bonnes pratiques d'élevage.

L'objectif de cette étude supportée par le projet FORAFAMA est d'analyser la faisabilité d'un tel programme municipal REDD+, d'une part au niveau des méthodologies carbone applicables, et d'autre part au niveau de la viabilité économique et financière.

Un programme REDD+ à l'échelle de la municipalité aura vocation à terme de s'intégrer dans un programme REDD juridictionnel porté par l'Etat Fédéral et/ou l'Etat du Mato Grosso. Dans cette étude, on se réfère donc aux lignes directrices développées par le VCS pour les programmes REDD+ juridictionnels, imbriqués et complétés par des éléments pertinents de méthodologie de projets.

L'analyse économique et financière est faite en utilisant un modèle Excel comparant les rentabilités et les émissions de carbone du scénario de référence (sans programme REDD+) et du scénario REDD+ (avec programme REDD+), en intégrant à ce dernier les revenus et coûts spécifiques au programme REDD+.

L'étude a été réalisée pour les propriétés rurales enregistrées dans le cadastre environnemental de l'Etat en 2011, qui représentent une surface de 456910 ha, sur une surface totale de propriété privée estimée à environ 510 900 ha dans la municipalité.

L'étude se compose ainsi de trois parties :

1. L'estimation des paramètres économiques et financiers de chaque usage du sol des scénarios de référence et de REDD+ : revenus, charges d'investissement et de fonctionnement, répartition des flux de trésorerie sur la durée du cycle de production ;
2. L'estimation des niveaux d'émissions de carbone pour chaque scénario : estimation des niveaux d'activité (déforestation, dégradation) et des facteurs d'émission associés ;
3. L'analyse de viabilité économique et financière : alimentation du modèle avec les paramètres estimés lors des deux étapes précédentes, analyses de sensibilité.

## Paramètres économiques et financiers

Ces paramètres ont été estimés sur la base d'une revue bibliographique et de données collectées sur le terrain auprès des principaux exploitants privés de la municipalité ainsi que d'experts reconnus dans les secteurs concernés. Les données collectées ont été traitées de façon à établir un profil type d'exploitant dans chaque secteur.

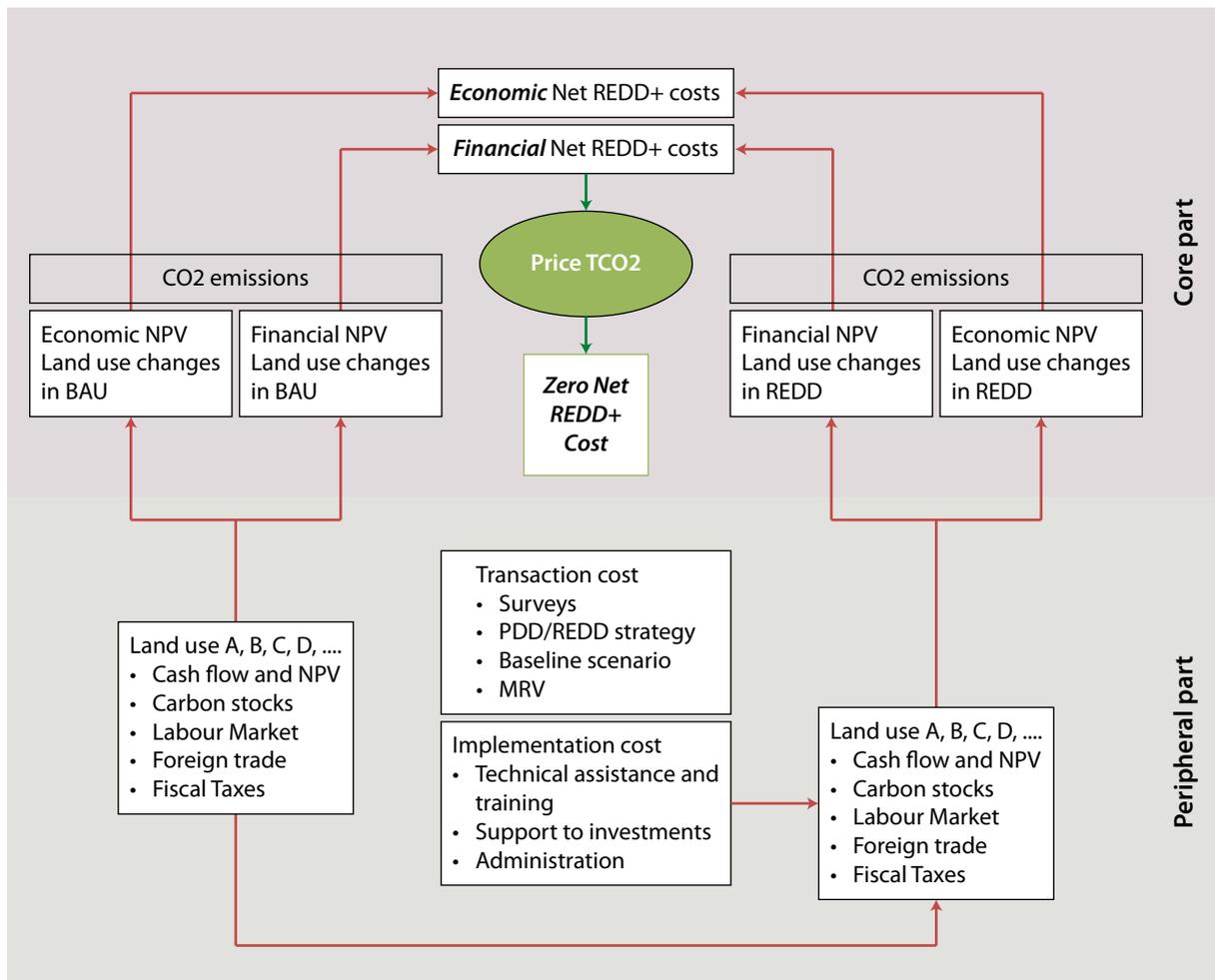


Figure 1 : structure du modèle d'analyse coûts – bénéfices

### Secteur forestier

L'exploitant forestier type exploite chaque année une surface de 830 ha, avec une intensité de récolte de 20 m<sup>3</sup>/ha. Les charges d'investissements s'élèvent à 1423 R\$/ha (71 R\$/m<sup>3</sup>), celles de fonctionnement à 1 075 R\$/ha (54 R\$/m<sup>3</sup>). Les revenus se montent à 3 089 R\$/ha (154 R\$/m<sup>3</sup>).

L'exploitation se déroule sur une période de 6 ans, avec une surface totale exploitée de 4980 ha puis cesse, la réglementation imposant un délai minimum de 25 ans avant de revenir exploiter une même parcelle.

La valeur actualisée nette obtenue est de 545 R\$/ha pour une période de 25 ans et un taux d'actualisation de 6,75%, hors inflation.

Précisons qu'une surface déjà exploitée peut être revendue ou convertie en pâturages, voire ré-exploitée illégalement avant la période de 25 ans fixée par la loi.

Dans la municipalité, il n'existe pas de cas réel observable d'aménagement forestier permettant de déterminer si cette pratique conduit à des changements au niveau des revenus ou des charges. L'adoption de taux de reconstitution par espèce, qui va au-delà de ce qui est requis par la loi en vigueur, aboutirait probablement à une baisse de l'intensité de prélèvement. Le respect de normes plus strictes d'inventaire pré et post-exploitation induirait probablement des charges supplémentaires. Cependant, faute de données fiables issues de cas réels, nous partons de l'hypothèse que l'aménagement ne modifie ni les revenus ni les charges.

Par contre, l'adoption de pratiques d'aménagement forestier contraindrait l'exploitant à mettre en place une rotation sur 25 et non 6 ans et donc à réduire la surface annuelle exploitée à environ 200 ha, ce qui décale les flux de revenus dans le temps et allonge la durée du retour sur investissement. Ce facteur abaisse la valeur actualisée nette à 184 R\$/ha (pour une période de 25 ans et un taux d'actualisation de 6,75%, hors inflation).

## Secteur de l'élevage

L'éleveur type dispose d'une surface de pâturages de 1237 ha, avec un taux de chargement de 2,18 UGB/ha. Les charges d'investissement s'élèvent à 3496 R\$/UGB, celles de fonctionnement à 182 R\$/UGB. La productivité est de 89 kg/ha, les revenus s'élèvent à 500 R\$/ha.

La valeur actualisée nette obtenue est négative, - 1720 R\$/ha (pour une période de 25 ans et un taux d'actualisation de 6,75%, sans prise en compte de l'inflation). Cependant, si on prend en compte la possibilité de revente du foncier à la fin du cycle de production, la VAN devient positive, ce qui tend à démontrer que les perspectives de spéculation foncière jouent un rôle important dans la prise de décision de l'exploitant. Notons à ce sujet que la reprise d'une exploitation d'élevage existante présente une VAN positive, 759 R\$/ha. La conversion des forêts en pâturage se présente ainsi comme une activité de mise en valeur de la terre aux yeux des exploitants.

Dans la municipalité, il n'existe pas de cas réel observable de bonnes pratiques d'élevage permettant de déterminer si ces pratiques conduisent à des changements au niveau des revenus ou des charges. On s'appuie donc sur la littérature pour simuler ces changements. Une charge d'investissement supplémentaire de 2 670 R\$/UGB est nécessaire (amélioration des pâturages, clôtures pour mettre en place des rotations, acquisition d'animaux améliorés, etc...), mais l'augmentation de rendement obtenue est de 168 kg/UGB. Cependant, la transition procure une VAN négative, - 896 R\$/ha : la hausse des revenus ne compense pas le surcoût initial d'investissement, du moins pour une durée de cycle de production de 25 ans.

## Paramètres carbone

### Scénario de référence

Les émissions de carbone du scénario de référence proviennent de la conversion des forêts en pâturages et de la dégradation des forêts du fait de l'exploitation forestière.

### Déboisement

De 2002 à 2011, l'analyse des données PRODES sur les propriétés rurales cadastrées de la municipalité montre un taux moyen annuel de déboisement de 3 257 ha/an, en baisse de 5 519 ha/an sur la période 2002 – 2006 à 996 ha/an sur la période 2007 -2011.

Cette baisse peut s'expliquer par les politiques mises en place par les pouvoirs publics brésiliens pour contrôler la déforestation en Amazonie, mais également par les évolutions économiques internationales et la crise globale de 2008. On retient le taux moyen historique sur la période 2002 – 2011.

Cependant, ce taux ne peut être appliqué sans tenir compte des contraintes d'ordre légal et technico-économiques pesant sur le développement de l'élevage. La loi en vigueur n'autorise aucune conversion dans les zones de protection permanente (APP), définies ainsi du fait de la proximité aux cours d'eau ou de forts reliefs. En outre, 80% de la surface de chaque propriété rurale hors APP sont placés en réserve légale de l'Amazonie brésilienne et ne peut être déboisés. L'application de ces contraintes limite la surface pouvant faire l'objet d'un déboisement à 29 688 ha.

On ne prend en compte aucune contrainte technico-économique dans la mesure où l'exclusion des APP exclue de fait les zones les moins propices à une conversion.

Le facteur d'émission de carbone du déboisement correspond à la différence entre les stocks de carbone des forêts et des pâturages. On retient pour les forêts l'estimation moyenne issue des travaux de l'ICV dans la municipalité, soit 173 tC/ha, et pour les pâturages les facteurs par défaut du GIEC pour les pâturages (7,5tC/ha) et les pâturages dégradés (1tC/ha).

### Dégradation

On s'appuie sur les statistiques des volumes de grumes autorisés par les autorités pendant la période 2006 – 2012 dans la municipalité, soit une moyenne annuelle de 109301 m<sup>3</sup>, correspondant à une surface moyenne exploitée de 5 465 ha par an en appliquant l'intensité moyenne de récolte issue des enquêtes de terrain et confirmée par la littérature existante (20 m<sup>3</sup>/ha).

Les volumes étant restés stables d'une année sur l'autre, on adopte cette surface moyenne annuelle exploitée comme taux de dégradation de référence.

De même que pour le déboisement, il convient d'examiner les contraintes légales et technico-économiques pesant sur le développement de l'exploitation forestière. Aucune exploitation n'étant possible dans les APP, la surface maximale disponible pour l'exploitation forestière est de 315 111ha. On fait l'hypothèse que l'exclusion des APP exclue de

fait les zones non propices à l'exploitation forestière pour des raisons technico-économiques.

Le facteur d'émission de carbone de l'exploitation forestière est de 10,6 tC/ha. Ce chiffre a été estimé en réalisant le bilan carbone d'une exploitation formelle, respectant les normes légales, en particulier l'interdiction de repasse pendant 25 années après l'exploitation. Il prend en compte le stockage du carbone dans le bois mort et les produits bois, ainsi que le recru après exploitation.

Notons que la surface annuelle exploitée comme le facteur d'émission de carbone de l'exploitation sont des estimations probablement très conservatives, dans la mesure où les pratiques illégales sont courantes dans la municipalité. Cependant, l'impact de ces pratiques est par nature difficile à évaluer de façon précise et vérifiable. Nous avons donc restreint les estimations à l'impact des pratiques légales, pour lesquelles des statistiques fiables existent et des observations de terrain ont pu être menées.

## Résultats

Les émissions de référence s'élèvent au total à 24,035 millions de tCO<sub>2</sub>e sur 25 ans, dont 78% provenant du déboisement et 22% de l'exploitation forestière. Notons que nous avons des projections des émissions de référence sur 25 ans de façon à pouvoir réaliser l'analyse économique et financière sur une durée compatible avec l'aménagement forestier. Toutefois, les lignes directrices du VCS imposeraient de réévaluer ce scénario au minimum toutes les dix ans.

Par ailleurs, compte tenu du taux annuel de déboisement (3257 ha) et de la surface maximale pouvant être déboisée (29 688 ha), les émissions dues au déboisement cessent au bout de 10 ans. Ainsi, adopter un taux plus bas correspondant à la tendance des années 2007-2011 (996 ha) ne diminuerait que d'environ 17% les émissions de référence du déboisement, mais étalerait ces émissions sur l'ensemble des 25 années de la projection. Cela conduirait cependant à décaler les flux de revenus carbone dans le temps et donc à réduire les performances financières du programme.

## Scénario REDD+

Les émissions de carbone du scénario REDD+ proviennent de l'exploitation forestière sous aménagement et des systèmes d'élevage appliquant les bonnes pratiques de durabilité. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur la première source.

## Méthodes

Un protocole de suivi des impacts carbone de l'exploitation forestière sous aménagement forestier a été établi et appliqué sur deux exploitations en cours dans la municipalité. Ce protocole établit les modalités de collecte et de traitement des données permettant d'estimer les différents paramètres rentrant en compte dans l'estimation du bilan carbone de l'exploitation. Il combine les données de la littérature, les données obtenues par télédétection et les mesures de terrain (sur plus de 300 placettes), sur la base d'une stratification de la zone exploitée en strates intactes, strates dont la végétation est totalement affectée (pistes, parcs de stockage, trouées) et strates dont la végétation est partiellement affectée (dommages collatéraux en bordure des pistes, parcs et trouées). Le stockage du carbone, puis sa libération par décomposition, dans le bois mort et les produits bois est pris en compte. Le recru et la régénération après exploitation dans les zones affectées par l'exploitation sont également estimés sur la base des données de la littérature. Les émissions dues à la consommation de combustibles fossiles sont par contre exclues, comme cela est également le cas pour les activités du scénario de référence (élevage, exploitation forestière).

## Résultats

33,3% de la surface exploitée est totalement (11,2%) ou partiellement (22,2%) affectée par l'exploitation. Dans les strates partiellement affectées, environ 10% des stocks de biomasse sont perdus. Au total, sur une assiette annuelle de coupe, 11,6% des stocks de carbone sont perdus du fait de l'exploitation. Le carbone ainsi prélevé rejoint le compartiment bois mort (71%), le compartiment produits bois (15,9%) ou est émis instantanément lors du processus de transformation (13%).

En appliquant des taux de décomposition issus de la littérature pour le bois mort et les produits bois, ainsi qu'un taux de recru et de régénération sur les zones affectées par l'exploitation, on modélise les flux de carbone dus à l'exploitation forestière pour une assiette annuelle de coupe sur une durée de 25 ans. Ces résultats sont ensuite accumulés sur l'ensemble des 25 assiettes annuelles de coupe de la surface aménagée pour la durée de rotation de 25 ans. On obtient une émission de carbone de 10,63 tC/ha ou 0,43 tC/ha/an.

Notons que nous avons adopté ce même chiffre pour estimer les émissions de carbone de l'exploitation forestière dans le scénario de référence.



On prend ainsi comme hypothèse que l'adoption de l'aménagement forestier n'induirait pas de changement du bilan carbone de l'exploitation, dans la mesure où les normes légales en cours imposent déjà une durée de 25 ans sans repasse sur la même assiette de coupe, cette durée étant déterminée à partir d'un facteur de régénération standard de la ressource sans distinction d'espèce. Cependant, si l'aménagement forestier mis en place au niveau de la municipalité prend en compte des taux de reconstitution de la ressource et donc des diamètres minima d'exploitation par espèce, l'intensité de récolte ou la durée de la rotation pourraient être modifiées et conduire à un bilan carbone différent.

Dans ce chapitre, nous nous sommes limités à l'estimation du facteur d'émission de l'exploitation forestière. Il faut par ailleurs déterminer la surface exploitée pour estimer les émissions totales dues à la dégradation dans le scénario REDD+. Il faut également déterminer la surface boisée qui sera tout de même convertie en pâturages malgré les actions du programme. Fixer ces paramètres revient à établir des objectifs pour le programme REDD+. C'est dans la troisième partie du rapport que nous établissons et testons différents scénarios REDD+ correspondant à différents objectifs de réduction du déboisement et de promotion de l'exploitation forestière sous aménagement. Ainsi, ces scénarios sont évalués sur le plan de la réduction des émissions mais également des performances économiques et financières.

## Analyse de viabilité économique et financière

### Données d'entrée du modèle

Outre les paramètres économique, financier et carbone de chaque scénario estimés ci-dessus, on doit définir plusieurs paramètres généraux. La durée de l'analyse est fixée à 25 ans, de façon à couvrir une rotation complète d'exploitation forestière. Le taux d'actualisation est estimé à 6,75%. On ne prend pas en compte l'inflation dans un premier temps. Le prix des crédits carbone est estimé à 5,9 US\$ par unité, prix moyen sur les marchés volontaires en 2012. Ces trois derniers paramètres seront modifiés lors des analyses de sensibilité.

Les surfaces de changement d'usage du sol du scénario de référence sont issues de l'estimation présentée ci-dessus, soit la conversion de 29 688 ha de forêts en pâturages à un rythme de 3 257 ha/an, et l'exploitation de 136 627 ha de forêts à un taux de

5 465 ha/an. Ce scénario prend également en compte les profits générés par 55 996 ha de pâturages déjà existants.

Dans un premier temps, nous évaluons un scénario REDD+ ayant pour objectifs de réduire de 80% la surface forestière convertie en pâturages, d'exploiter selon de bonnes pratiques d'aménagement forestier 100% des surfaces forestières exploitables, et de convertir aux bonnes pratiques d'élevage 50% des surfaces de pâturages existant.

Les coûts spécifiques au programme REDD+ englobent les coûts de transaction, c'est-à-dire les coûts des actions nécessaires pour certifier le programme et vendre les crédits carbone, et les coûts de mise en œuvre, c'est-à-dire les coûts des actions nécessaires pour réaliser les objectifs du scénario REDD+ et qui ne sont pas supportés par les agents économiques, dans ce cas les propriétaires privés, mais par les structures qui portent le projet, municipalité et éventuels porteurs associés.

Les coûts de mise en œuvre sont estimés sur la base des coûts de programmes en cours : développement d'un cadastre des propriétés rurales, appui à la mise en place d'un secteur forestier durable et adoption de bonnes pratiques d'élevage. Au total, ils s'élèvent à 13 millions de R\$, répartis sur les 5 premières années du programme. Toutefois, le dimensionnement des activités de mise en œuvre et l'évaluation des coûts associés devraient faire l'objet d'une analyse approfondie sur la base des leçons apprises avec ces programmes en cours dans la municipalité.

Les coûts de transaction sont estimés sur la base de coûts expérimentés dans des initiatives similaires, tels que des projets certifiés par le VCS, ainsi que des données issues de la littérature. Au total, ils s'élèvent à près de 12 millions de R\$, répartis sur l'ensemble de la durée du programme. Cette estimation devrait également être révisée en appliquant des références locales de coûts, notamment en matière d'inventaires carbone et de télédétection.

### Résultats

Le scénario REDD+ défini ci-dessus permet de réduire les émissions de 7532060 tCO<sub>2</sub>e, l'équivalent de 31% des émissions du scénario de référence. Les émissions issues de la déforestation baissent drastiquement, de 18,7 à 3,7 millions de tCO<sub>2</sub>e, mais cette baisse est en partie annulée par l'augmentation des émissions issues de la dégradation, de 5,3 à 13,4 millions de tCO<sub>2</sub>e.

Notons que la totalité des réductions d'émissions obtenues ne pourrait être commercialisée en tant que crédits carbone sur le marché volontaire. En effet, une partie devrait être mise de côté de façon à couvrir les risques de non permanence des réductions d'émissions selon les règles définies par le VCS pour les programmes juridictionnels. Nous avons estimé que seulement 60% des réductions d'émissions pourraient être commercialisées.

Le coût d'opportunité net total est négatif et s'établit à 6 261 582 R\$, c'est-à-dire que le programme génère un profit actualisé de 6 261 582 R\$, correspondant à un taux de rentabilité interne de 7,05%.

Les coûts totaux du programme sont estimés à 1 875 3715 R\$, soit 10,12 R\$/tCO<sub>2</sub>e, dont la majorité (57%) provient des coûts de transaction (5,81 R\$/tCO<sub>2</sub>e), devant les coûts de mise en œuvre (32%, 3,23 R\$/tCO<sub>2</sub>e). Les coûts d'opportunité des propriétaires fonciers, c'est-à-dire la perte de bénéfices qu'ils encourent du fait du programme ne s'élèvent qu'à 11% des coûts totaux, soit 1,09 R\$/tCO<sub>2</sub>e. Les revenus carbone s'élevant à 2 501 5297 R\$, le programme génère un bénéfice.

Les revenus des activités sont plus importants dans le scénario REDD+ que dans le scénario BAU, ils enregistrent un accroissement de 46%. Toutefois, la mise en place d'activités plus durables et plus rentables dans le scénario REDD+ ne suffit pourtant pas à réaliser des recettes permettant de compenser la hausse des investissements (+54%) nécessaires à la mise en place de ces activités. Ainsi la VAN du scénario REDD+ est inférieure de 3% à la VAN du scénario de référence pour les propriétaires fonciers, soit une perte de l'ordre de 2 014 364 R\$ pour ces derniers.

Environ 10% des revenus carbone du programme devraient être affectés à la compensation des pertes des propriétaires fonciers de façon à ce que le programme soit neutre à leur égard. Cependant, le programme devrait leur procurer un bénéfice pour entraîner leur adhésion. Si l'on prend pour objectif une augmentation de 10% des profits des propriétaires fonciers, ce sont 35% des revenus carbone qui devraient leur revenir. Dans ce cas, les porteurs du projet ne peuvent que couvrir leurs coûts de mise en œuvre et de transaction avec la part des revenus carbone restant. Autrement dit, l'ensemble du bénéfice généré par le programme revient aux propriétaires fonciers.

**Tableau 38 : coût d'opportunité net total du programme**

Bénéfices des usages du sol	VAN du scénario de référence	65 869 667
	Van du scénario REDD++	63 855 302
	Variation	-3%
	Coût d'opportunité des propriétaires fonciers/tCO <sub>2</sub> e	1,09
Coûts de mise en œuvre		5 981 050
Coûts de mise en œuvre/tCO <sub>2</sub> e		3,23
Coûts de transaction		10 758 301
Coûts de transaction/tCO <sub>2</sub> e		5,81
Coûts de totaux		18 753 715
Coûts de totaux/tCO <sub>2</sub> e		10,12
Revenus carbone		25 015 297
% des revenus carbone/bénéfice total		28%
Coût d'opportunité net		-6 261 582
TRI		7,05%

Par ailleurs, la mise en perspective du niveau de production et des émissions laisse apparaître des rapports d'efficacité radicalement différents entre les deux scénarios. En effet, schématiquement, alors qu'une tonne de CO<sub>2</sub> émise permettrait de générer une valeur productive de 54 R\$ dans le scénario de référence, cette même tonne de CO<sub>2</sub> permettrait d'obtenir une valeur productive plus de 2 fois supérieure (116 R\$) dans le scénario REDD+. En d'autres termes, l'efficacité productive de la ressource naturelle est nettement améliorée dans le scénario REDD+. Cette augmentation du niveau de production permet par ailleurs d'augmenter le niveau d'emplois de 5% par rapport au scénario de référence.

### Analyse de sensibilité

Nous envisageons ici l'impact de la variation de certains des paramètres de base du modèle, (i) le taux d'actualisation, (ii) la spéculation foncière, (iii) la stratégie du programme REDD+, (iv) le prix des crédits carbone et (v) l'inflation.

### Taux d'actualisation

Nous avons vu que le programme REDD+ est viable financièrement pour un taux d'actualisation de 6,75%. Cependant, il est probable que les agents économiques concernés intègrent un taux d'actualisation plus élevé dans l'estimation de la

viabilité financière de leurs activités. Ceci aurait un impact important sur les coûts d'opportunités des propriétaires fonciers et la compensation qu'ils attendraient du programme. Ainsi, le passage à un taux d'actualisation de 9% augmente le coût d'opportunité des propriétaires fonciers à 26,28 R\$/tCO<sub>2</sub>e, ce qui rend le programme non viable étant donné le prix actuel moyen de la tCO<sub>2</sub> observée sur les marchés volontaires (13,5R\$/tCO<sub>2</sub>).

### Spéculation foncière

La spéculation foncière est prise en compte dans le modèle en intégrant les revenus de la revente du foncier à la fin du cycle d'investissement. La revente du foncier permet de rentabiliser les activités qui ne l'étaient pas auparavant, à savoir la mise en place de pâturages après la déforestation et l'amélioration des pâturages existants. Le programme REDD+, avec la prise en compte de la revente du foncier dans l'analyse, devient légèrement plus avantageux dans la mesure où le coût d'opportunité du projet baisse (de 10,12 à 8,92 R\$/ tCO<sub>2</sub>), le taux de rentabilité interne passe de 7,05 à 7,07% et la valeur actualisée nette du scénario REDD+ passe, quant à elle, de 6 261 582 à 8 493 571 R\$.

Cependant, les taux d'inflation de 24% du prix de revente des pâturages et de 16% du prix de revente des exploitations forestières ont été observés sur une période de 8 ans (de 2002 à 2009). Leur extrapolation sur toute la durée du programme (25 ans) est donc probablement incorrecte.

### Objectifs du scénario REDD+

Il est possible de modifier les objectifs du scénario REDD+, en terme de surfaces de changement dans l'usage du sol et de réductions d'émissions, et d'en estimer l'impact sur la viabilité financière du programme. Nous avons testé plusieurs scénarii alternatifs classés selon le degré d'ambition en termes de réduction des émissions de carbone :

- Scénario 0 : c'est le scénario présenté ci-dessus. La déforestation est réduite de 80%, l'ensemble de la surface forestière est exploité sous plan d'aménagement, 50% des pâturages sont convertis en pâturages gérés selon les BPA. Ce scénario permet une réduction de 7,5 MtCO<sub>2</sub>e, soit 31% des émissions de référence ;
- Scénario 1 : la déforestation est réduite de 100%, l'ensemble de la surface forestière est exploité sous plan d'aménagement, 100% des pâturages sont convertis en pâturages gérés selon

les BPA. Ce scénario permet une réduction de 11,7 MtCO<sub>2</sub>e, soit 49% des émissions de référence ;

- Scénario 2 : la déforestation est réduite de 80%, la surface forestière exploitée reste identique (mais sous plan d'aménagement), 50% des pâturages sont convertis en pâturages gérés selon les BPA. Ce scénario permet une réduction de 15,6 MtCO<sub>2</sub>e, soit 65% des émissions de référence ;
- Scénario 3 : la déforestation est réduite de 100%, il n'y a plus d'exploitation forestière et 100% des pâturages sont convertis en pâturages gérés selon les BPA. Ce scénario permet d'éviter 100% des émissions de référence et de séquestrer 1,3 MtCO<sub>2</sub>e.

Ces scénarii ont été testés pour un taux d'actualisation de 6,75%, un prix du crédit carbone de 13,5 R\$, avec et sans la prise en compte de la spéculation foncière.

Seuls le scénario 0 et le scénario 1 sans spéculation foncière présentent un profit actualisé positif ou proche de 0.

La prise en compte de la spéculation foncière dégrade fortement les résultats de tous les scénarii à l'exception du scénario 0, dont les résultats sont au contraire légèrement améliorés. Ceci s'explique par le fait que la prise en compte de la spéculation foncière rend toutes les activités d'usage du sol profitables. Les scénarii 1, 2 et 3 impliquant des contraintes supplémentaires de développement de ces activités, l'impact de la prise en compte de la spéculation foncière est alors plus important.

La comparaison deux à deux des scénarii 0 et 2, et des scénarii 1 et 3, montre l'impact fortement négatif de la restriction de l'exploitation forestière sur les résultats financiers. Au contraire, la comparaison des scénarii 1 et 2 montre qu'on peut augmenter l'effort de réduction des conversions en pâturages sans dégrader fortement les résultats financiers, tout du moins si l'on ne prend pas en compte la spéculation foncière.

### Prix des crédits carbone

Les estimations précédentes ont été réalisées pour un prix moyen du crédit carbone de 5,9 US\$ (13,5 R\$), prix moyen du marché volontaire en 2012. Cependant, ce prix moyen cache une forte dispersion des prix des transactions sur le marché : des volumes

Tableau 42 : réductions d'émissions, profits actualisés, TRI et coûts d'opportunité des différents scénarii REDD+

Scénarii	Réduction d'émissions		Sans spéculation foncière			Avec spéculation foncière		
	tCO <sub>2</sub> e	% des émissions du scénario de référence	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/tCO <sub>2</sub> e	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/tCO <sub>2</sub> e
Scénario 0 : -80% déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 50% surface de pâturages en BPA	7 532 060	31%	6,3	7,0	10,1	8,49	7,1	8,9
Scénario 1 : Zéro déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 100% surface de pâturages en BPA	11 712 557	49%	-0,3	6,7	13,6	-279	-	110,4
Scénario 2 : -80% déforestation, exploitation forestière sur la même surface, 50% surface de pâturages en BPA	15 645 871	65%	-5,1	6,3	14,8	-683,8	-	191,1
Scénario 3 : Zéro déforestation, zéro exploitation forestière, 100% surface de pâturages en BPA	-1 334 565	106%	-19,4	3,5	16,6	-1445,5	-	245

significatifs ont été vendus à un prix allant jusqu'à 10 US\$/tonne, soit plus de 20 R\$/tonne. Un tel niveau de prix rendrait profitable tous les scénarii décrits ci-dessus dans les cas où on ne prend pas en compte la spéculation foncière. A l'inverse, une baisse du prix du crédit au dessous de 3,9 US\$/tonne (8,9 R\$) rend tout scénario non rentable.

### L'inflation

Les taux d'inflation étant importants dans les pays émergents, il est nécessaire de prendre en compte cette donnée. On fait l'hypothèse d'une poursuite de la tendance actuelle de 6% par an. La prise en compte de l'inflation améliore sensiblement les résultats financiers du programme dans tous les scénarii, à l'exception des scénarii 1, 2 et 3 avec prise en compte de la spéculation foncière, seuls scénarii non rentables.

En conclusion, les analyses de sensibilité montrent que la viabilité du programme est très dépendante de certaines variables, telles que le taux d'actualisation, le taux d'inflation, les perspectives de spéculation foncière et le prix des crédits carbone. Il convient donc d'approfondir l'analyse des variables, afin d'établir des hypothèses aussi solides que possible. Toutefois, quelles que soient les hypothèses retenues, il semble qu'un scénario maximaliste en matière de réduction d'émissions (scénario 2 ou 3) ait peu de chances d'être viable.

### Limites de l'étude et points à approfondir

Plusieurs questions méritent une analyse approfondie afin de rendre l'analyse de viabilité du programme plus robuste.

**Tableau 43 : réductions d'émissions, profits actualisés, TRI et coûts d'opportunité des différents scénarii REDD+ pour une inflation de 6%**

Scénarii	Sans spéculation foncière			Avec spéculation foncière		
	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/ tCO <sub>2</sub> e	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/ tCO <sub>2</sub> e
Scénario 0 : -80% déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 50% surface de pâturages en BPA	216	13,5	-42,8	260,5	13,5	-54,42
Scénario 1 : Zéro déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 100% surface de pâturages en BPA	222,4	13,1	-23,8	-583,5	-	111,4
Scénario 2 : -80% déforestation, exploitation forestière sur la même surface, 50% surface de pâturages en BPA	102,8	12,6	0,6	-1912,9	-	253,6
Scénario 3 : Zéro déforestation, zéro exploitation forestière, 100% surface de pâturages en BPA	31,8	9,7	11,0	-4245,3	-	342

### Impact de l'aménagement forestier

Faute de donnée fiable issue de cas réels, on fait ici l'hypothèse que l'aménagement ne modifie ni les revenus ni les charges. Cependant, l'adoption de taux de reconstitution par espèce, qui va au-delà de ce qui est requis par la loi en vigueur, induirait probablement une baisse de l'intensité de prélèvement. Le respect de normes plus strictes d'inventaire pré et post-exploitation induirait probablement des charges supplémentaires.

Par ailleurs, on fait l'hypothèse que l'adoption de l'aménagement forestier n'induirait pas de changement du bilan carbone de l'exploitation, dans la mesure où les normes légales en cours imposent déjà une durée de 25 ans sans repasse sur la même assiette de coupe, cette durée étant déterminée à partir d'un facteur de régénération standard de la ressource sans distinction d'espèce. Cependant, si l'aménagement forestier mis en place au niveau de la municipalité prend en compte des taux de reconstitution de la ressource et donc des diamètres minima d'exploitation par espèce, l'intensité de la récolte ou la durée de la rotation pourraient être modifiées et conduire à un bilan carbone différent.

Enfin, les calculs de cette étude sont faits pour une superficie moyenne de 5 000 ha par exploitation forestière. Or, au sein des propriétés cadastrées en 2011, seulement 12% des exploitations atteignaient ou dépassaient cette taille. Pour être viable, une stratégie d'aménagement forestier devrait donc associer les industriels de la municipalité, capables de

mutualiser certains investissements de l'exploitation (machines, équipements) sur une surface plus importante provenant de plusieurs propriétés. Ainsi, l'analyse devrait être complétée pour prendre en compte les activités en aval de la filière forestière présente dans la municipalité.

### Impact des bonnes pratiques d'élevage

D'après nos estimations, la conversion de pâturages existants aux bonnes pratiques d'élevage n'est pas rentable, l'augmentation de la productivité ne compensant pas l'investissement initial requis. Cependant, cette estimation se base sur des données de littérature et mériterait d'être confrontée à des données de terrain.

Nous n'avons pas estimé les émissions liées à la fermentation entérique des bovins, à la gestion des déjections animales et à l'utilisation d'engrais des systèmes d'élevage, qu'il s'agisse des pratiques courantes ou des bonnes pratiques. Ces sources devraient être estimées afin de vérifier leur significativité et de pouvoir justifier leur exclusion ou les quantifier si leur omission ne s'avère pas conservatrice.

De même que pour l'aménagement, des contraintes technico-économiques pèsent sur la diffusion des bonnes pratiques d'élevage. Nous n'abordons pas ce sujet dans ce rapport mais c'est un point important à étudier pour garantir le succès du programme.

## Emissions de carbone du scénario de référence

Le taux de déboisement historique est estimé sur la base des données PRODES pour la municipalité. Or, ces données sont nationales et n'ont pas fait l'objet d'une validation sur la base de données de terrain et ou de télédétection à haute résolution qui permettent d'en vérifier la précision. Cette étape sera nécessaire en cas de certification du programme par le VCS.

Au-delà de la fiabilité des données historiques, l'approche retenue pour la projection devra faire l'objet d'une justification argumentée.

Les données existantes de stocks de carbone forestier doivent également être évaluées en matière de représentativité des strates forestières présentes dans la municipalité, et de marge d'erreur et d'incertitude. Sur cette base, un plan d'échantillonnage permettra de déterminer si et combien de placettes supplémentaires sont nécessaires afin d'obtenir un niveau de fiabilité consistant avec les règles du VCS.

La surface annuelle exploitée et le facteur d'émission de carbone de l'exploitation dans le scénario de référence sont des estimations probablement très conservatrices, dans la mesure où les pratiques illégales sont courantes dans la municipalité. Ces pratiques étant par nature difficiles à quantifier de façon précise et vérifiable, il est impossible d'employer une méthode d'estimation des flux comme pour l'exploitation formelle sous aménagement (voir la méthode employée pour le scénario de projet). Des développements technologiques sont en cours pour tenter d'estimer la biomasse forestière par télédétection, ce qui permettrait d'estimer directement la dégradation forestière. Cependant, il n'existe actuellement aucune méthode opérationnelle à un coût acceptable. Par ailleurs, même si une telle méthode voit le jour dans les années à venir, il est peu probable que des données d'archive permettent d'estimer des tendances historiques fiables validant un scénario de référence de dégradation. Pour le moment, on ne peut donc que se baser sur une méthode d'estimation des flux sur la base des statistiques de l'exploitation formelle.

## Estimation des coûts spécifiques au programme REDD+

Le dimensionnement des activités de mise en œuvre du programme et l'évaluation des coûts associés

devraient faire l'objet d'une analyse approfondie sur la base des leçons apprises avec les programmes en cours (cadastre, aménagement forestier, bonnes pratiques d'élevage) dans la municipalité. Les coûts d'administration générale du programme et de suivi-évaluation devraient également être inclus.

L'estimation des coûts de transaction devrait également être révisée en appliquant des références locales de coûts en matière d'inventaires carbone et de télédétection notamment.

## Analyse de sensibilité

Il convient d'approfondir l'analyse sur les variables clés que sont le taux d'actualisation, le taux d'inflation, les perspectives de spéculation foncière et le prix des crédits carbone, afin d'établir les hypothèses les plus solides possibles.

Le taux d'actualisation doit être établi de façon à refléter les préférences des acteurs économiques. A cet égard, il serait utile d'appliquer des taux différents, d'une part aux agents économiques, propriétaires privés et industriels, d'autre part aux autorités publiques porteuses du programme.

Il serait également utile d'appliquer des taux d'inflations différents aux prix clés du programme, soit le prix de la viande, le prix des produits forestiers et les coûts des principaux intrants de ces secteurs.

Les perspectives de spéculation foncière doivent être évaluées plus précisément, en se penchant sur les tendances observées ces dix dernières années pour voir si elles sont susceptibles de se poursuivre et à quel rythme. Une analyse de l'évolution du prix du foncier dans des zones du front de déforestation ayant préalablement connu ce type de transition pourrait fournir des indications utiles.

Le prix des crédits carbone est difficile à prédire compte tenu de l'impact important des décisions politiques et du contexte économique global sur ce prix. Un indicateur fiable pourrait être le prix adopté par les gros acheteurs de crédits pour des programmes juridictionnels, tels que le Fonds Carbone du FCPF et le marché californien.

# 1. 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 changement climatique. 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'appuient 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 de diffusion auprès des acteurs privés susceptibles de porter ces projets ainsi que des administrations nationales en charge du développement des politiques nationales REDD.

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. Ce rapport présente les résultats obtenus grâce aux activités de recherche et d'étude mises en œuvre avec l'appui de Forafama.

## 1.1 Auteurs

Nicolas Grondard, ONF International  
Laura Pavoine, ONF International & AgroParisTech  
ENGREF  
Soraya Molina, ONF International & Université de Bordeaux 1  
Maxence Rageade, ONF International & CERDI  
Oriane Pledran, ONF International & Université de Clermont-Ferrand

Les auteurs remercient chaleureusement pour leur appui :

Lilian Blanc, CIRAD  
Marion Chesnes, ONF International  
Cleide Arruda, ainsi que toute l'équipe d'ONF Brésil  
Laurent Micol ainsi que toute l'équipe d'ICV  
Les propriétaires, forestiers et éleveurs, de la municipalité de Cotriguaçu qui ont accepté de participer à nos enquêtes et travaux de terrain.

## 2. Présentation des objectifs de l'étude et de l'approche méthodologique adoptée

### 2.1 Le projet et l'appui de FORAFAMA

Entre 2000 et 2008, le taux moyen de déforestation dans la Municipalité de Cotriguaçu s'est élevé à 1,5%/an qui est supérieur au taux moyen (1,0%) de la région. Face à cette situation, la Municipalité de Cotriguaçu et l'Etat du Mato Grosso ont élaboré 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 sont concentrées sur la déforestation et la dégradation forestière dans les propriétés privées, pour deux raisons principales :

1. C'est là que s'est produit 89% de la déforestation historique entre 2000 et 2008 ;
2. C'est 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-mêmes 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 poursuit 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 sont concentrées 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 pour les éléments suivants, 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 permettent ainsi de développer une approche méthodologique complète et de mettre en place des dispositifs d'estimation et de suivi de 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 permet de compléter les données déjà disponibles afin d'estimer et de comparer les coûts et revenus 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 les bonnes pratiques de durabilité promues par le projet (scénario projet).

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

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

## 2.2 La méthodologie de travail

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 par 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 par des éléments pertinents de certaines méthodologies de projets.

Afin d'évaluer la viabilité financière et économique du programme REDD, nous avons utilisé un modèle Excel développé par ONFI spécifiquement pour ce type d'analyse coûts-bénéfices de programmes REDD. Le modèle compare un scénario de référence et un scénario REDD. Chaque scénario se caractérise par ses surfaces de changement d'usage du sol, les émissions de carbone et la Valeur Actualisée Nette associée à chaque changement d'usage du sol. Le scénario REDD inclus les revenus carbone associés à la réduction des émissions (calculée en comparant les émissions de carbone des deux scénarii) ainsi que les coûts de transaction et de mise en œuvre spécifiques au programme REDD. La comparaison des VAN des deux scénarii permet de déduire un coût net, c'est-à-dire prenant en compte tous les coûts et revenus, du programme REDD par tCO<sub>2</sub> dont l'émission est évitée.

Le modèle permet de faire la distinction entre Valeur Actualisée Nette financière, c'est-à-dire calculée du point de vue des opérateurs économiques privés, et Valeur Actualisée Nette économique, c'est-à-dire calculée du point de vue de l'autorité publique. Cette dernière estimation peut ainsi prendre en compte, étant donné les données disponibles, l'impact du programme en termes d'emplois, de balance commerciale et de revenus fiscaux.

L'étude se compose de trois parties :

1. Estimation des paramètres économiques et financiers de chaque usage du sol des scénarii de référence et du scénario de projet : coûts et revenus, flux de trésorerie ;
2. Estimation des paramètres carbone des scénarii de référence et du scénario de projet : niveaux d'émissions de carbone pour chaque scénario ;
3. Analyse de viabilité économique et financière en alimentant le modèle avec les paramètres définis lors des deux étapes précédentes.

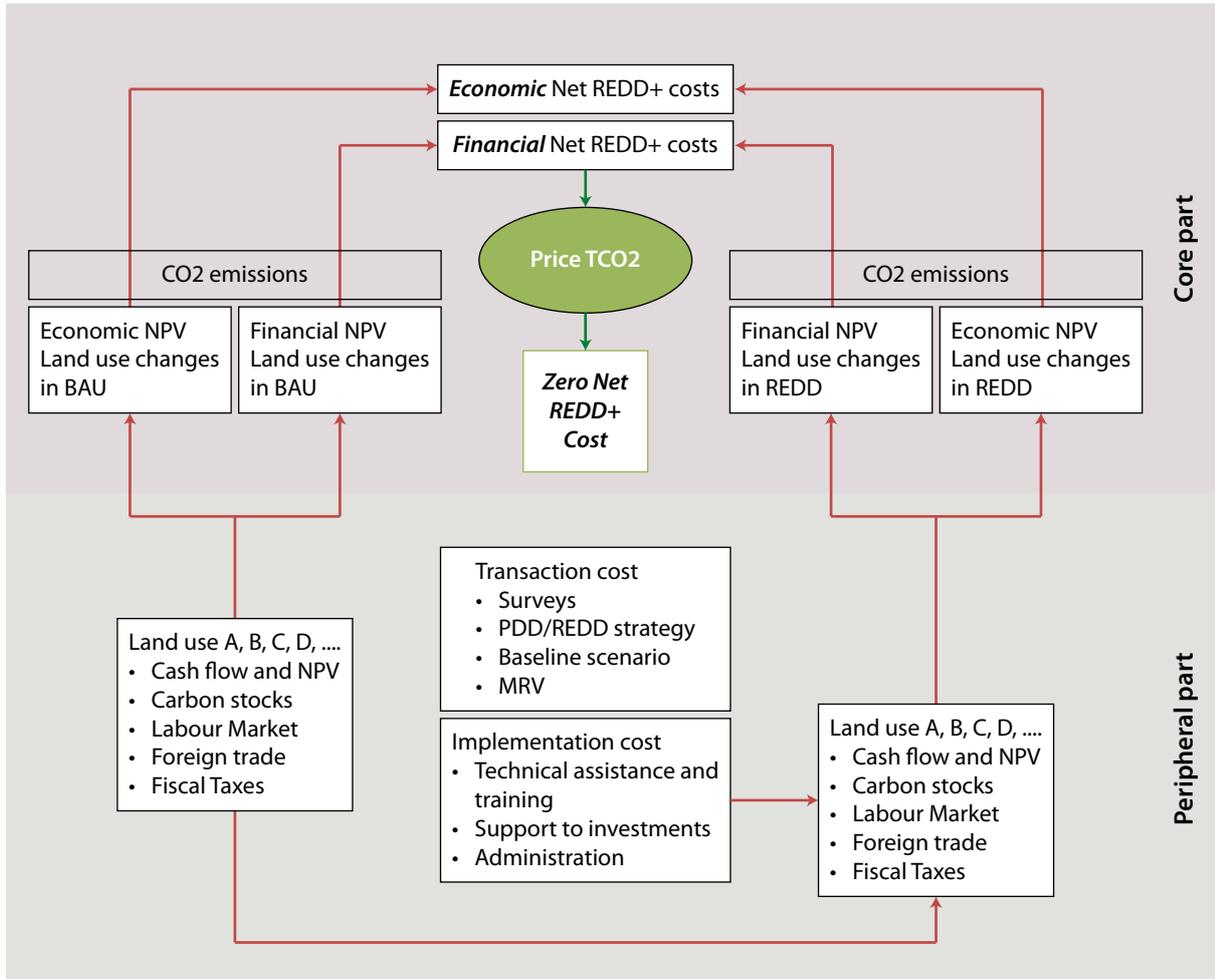


Figure 1 : structure du modèle d'analyse coûts – bénéfices

# 3. Estimation des coûts, revenus et flux de trésorerie des usages du sol

## 3.1 Méthodologie employée

### 3.1.1 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.

### 3.1.2 Données secondaires

Des informations sur les pratiques courantes des secteurs forestiers et d'élevage ont été obtenues par la consultation des travaux réalisés par des ONGS et bureaux d'études implantés dans la région. Pour l'exploitation forestière, on a essentiellement utilisé les diagnostics du secteur effectués par l'Institut Forestier Tropical (IFT) et la Fondation pour les Forêts Tropicales (FFT). 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. Pour le secteur forestier, la référence principale utilisée a été le Plan Opérationnel Annuel (POA) de l'exploitation forestière réalisé dans la Fazenda São Nicolau. Concernant le secteur d'élevage, le manuel des bonnes pratiques de l'Institution Brésilienne de Recherche en Agriculture et Elevage (EMBRAPA) a été la principale référence.

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

### 3.1.3 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 après un temps d'opération.

Les questionnaires pour le secteur forestier et d'élevage sont présentés en annexe.

### 3.1.4 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 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'Élevage 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 mènent leur activité dans la Municipalité, parce que cette activité développée sur une surface restreinte n'est pas un facteur significatif de déforestation.

La référence faite par les autres exploitants était un critère supplémentaire utilisé pour être inclus dans l'échantillon. 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 lors 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. Les grands exploitants sont en nombre très limité et plusieurs d'entre eux exercent les deux activités simultanément, dans la même ou dans différentes propriétés. On est ainsi assuré 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'Élevage : 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 en annexe.

### 3.1.5 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 et économique :

- 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, des intrants, de la main d'œuvre ;
- Revenus des activités productives.

## 3.2 Secteur forestier

### 3.2.1 Exploitation forestière conventionnelle

Les chiffres présentés dans cette section s'appliquent à une assiette annuelle de coupe type, représentative de la moyenne des exploitations ayant fait l'objet des enquêtes. La surface moyenne exploitée annuellement est de 830 ha, avec une intensité de récolte d'environ 20 m<sup>3</sup>/ha. L'exploitation dure en moyenne 9 mois et demi.

Les charges d'investissement se composent des coûts d'élaboration et de 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 : équipements utilisés pour l'exploitation forestière. Le Tableau 1 présente 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.

Les charges opérationnelles englobent 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 Tableau 2 et Tableau 3 indiquent les montants

**Tableau 1 : équipements utilisés pour l'exploitation forestière**

Equipments	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	25

de ces coûts par ha et par m<sup>3</sup> extrait, ainsi que leur répartition.

Les revenus moyens s'élèvent à 154 R\$ par m<sup>3</sup>.

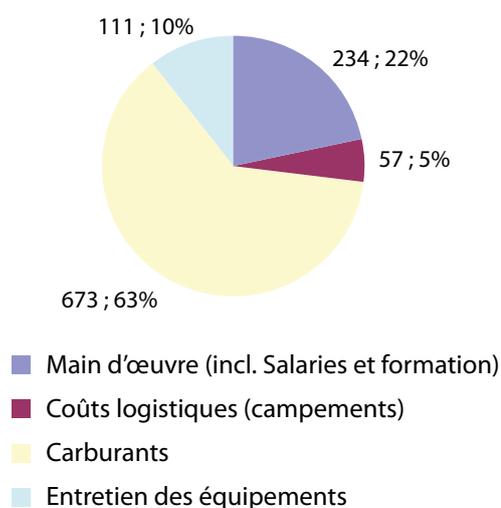
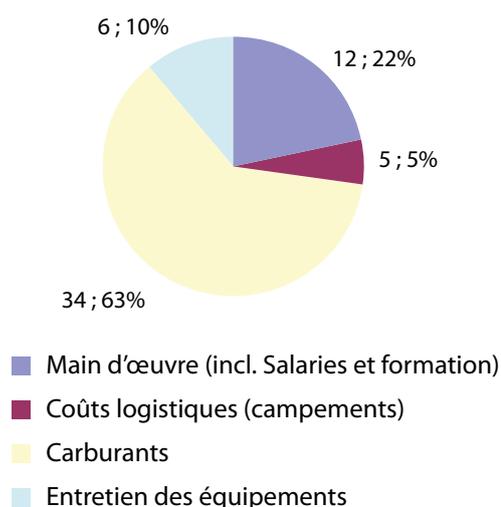
Les détails des charges d'investissements et comptes d'exploitation sont présentés en annexe.

Pour l'analyse économique et financière, on s'intéressera 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 pour la Municipalité (cf. diagnostic du secteur forestier de Cotriguaçu, IFT 2010).

Au bout de 6 années, toutes les surfaces autorisées ont été exploitées, et les opérations d'exploitation s'arrêtent. Ces surfaces ne peuvent légalement être de nouveau exploitées avant une durée minimum de 25 ans. Cependant, elles peuvent être converties en pâturages si le % de réserve légale (80%) de la propriété n'est pas dépassé ou revendues en réalisant une plus-value foncière.

### 3.2.2 Exploitation forestière sous plan d'aménagement durable

L'aménagement durable n'implique pas de différence en matière de charges d'investissement ou d'exploitation. En effet, les normes d'exploitation en vigueur imposent déjà aux exploitants des opérations pouvant être considérées comme des surcoûts liés à l'aménagement : réalisation d'inventaires et plan d'aménagement, mise en place de placettes de suivi de la régénération.

**Tableau 2 : Répartition des charges opérationnelles en R\$/ha et %****Tableau 3 : répartition des charges opérationnelles en R\$/m<sup>3</sup> et %**

Les intensités de récolte courantes de l'ordre de 20 m<sup>3</sup> par ha sont compatibles avec les normes en vigueur : 21,5 m<sup>3</sup> par ha maximum pour une durée de rotation de 25 ans (l'intensité peut augmenter si la durée de rotation augmente, tant que les volumes prélevés n'excèdent pas la capacité de récupération dont la valeur admise officiellement est de 0,86 m<sup>3</sup> par ha et par an).

La mise sous plan d'aménagement pourrait imposer des restrictions supplémentaires de volume en définissant des diamètres minima d'exploitation et des volumes maxima par espèce, mais il n'est pas possible d'en déterminer l'effet potentiel sur l'intensité totale de la récolte, aucun plan

d'aménagement n'ayant été conçu de cette manière dans la Municipalité. Nous faisons donc l'hypothèse d'une intensité de récolte similaire sans ou avec aménagement.

Dans ces conditions, la principale différence économique et financière entre exploitation conventionnelle et exploitation sous plan d'aménagement durable tient à la dispersion des flux de revenus et charges dans le temps.

### 3.3 Secteur de l'élevage

#### 3.3.1 Systèmes d'élevage conventionnels

##### Investissements et comptes d'exploitation

Nous avons fait une distinction entre les petits et grands éleveurs types, 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 1 237 ha de pâturages, 4 377 têtes de bétail, correspondant à 2 701 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 englobent les coûts de construction des bâtiments (Tableau 4 & Tableau 5), les équipements pour les pâturages (Tableau 6) et des machines (Tableau 7), l'acquisition du foncier, les troupeaux et la mise en place et le renouvellement des pâturages (Tableau 8). Ces coûts sont en partie couverts par la vente du bois de défriche (dont les revenus sont estimés à 2000 R\$/ha).

Les charges opérationnelles englobent les coûts de personnel, d'entretien des bâtiments et d'équipements, des traitements sanitaires, des compléments alimentaires, d'entretien des pâturages,

Tableau 4 : charges d'investissement de l'élevage (bâtiments des petites exploitations)

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

Tableau 5 : charges d'investissement de l'élevage (bâtiments des grandes exploitations)

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

Tableau 6 : charges d'investissement de l'élevage (équipements)

Equipments	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

**Tableau 7 : charges d'investissement de l'élevage (machines)**

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

**Tableau 8 : charges d'investissement de l'élevage (animaux, foncier, pâturages)**

	Petit propriétaire	Grand propriétaire
	Moyenne	Moyenne
Achat du troupeau (R\$)	999 030	3 810 631
Foncier (R\$)	891 000	2 227 201
Installation des pâturages (R\$/ha)	2 000	2 000
Installation des pâturages (R\$)	990 000	2 474 667

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 Figure 2, 3, 4 & 5 présentent les montants de ces coûts par ha et par UGB, ainsi que leur répartition.

In this figure « grans » should be replace by « grands »

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.

Les données détaillées des charges d'investissements et comptes d'exploitation sont présentées en annexe.

Pour l'analyse économique et financière, on prendra le cas d'une exploitation d'élevage type de 1 237 ha, correspondant aux données présentées ci-dessus pour les grandes exploitations. Nous verrons que la plus value foncière espérée semble être un facteur déterminant motivant la conversion des forêts en pâturages.

### 3.3.2 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 technico économiques issues de l'Embrapa (les données détaillées sont présentées en annexe) et de Strassburg et al.

D'après les sources consultées, le pâturage amélioré permet d'obtenir une productivité à l'hectare de 168Kg/ha, soit une augmentation de 88% du rendement. Cependant, l'investissement initial permettant la transition vers un pâturage amélioré est important, et comprend notamment des coûts additionnels d'achat du bétail, de gestion et planification et d'équipements. D'après nos estimations, ces surcoûts d'investissements ont pour effet de rendre les systèmes d'élevage appliquant les bonnes pratiques moins rentables que les systèmes conventionnels.

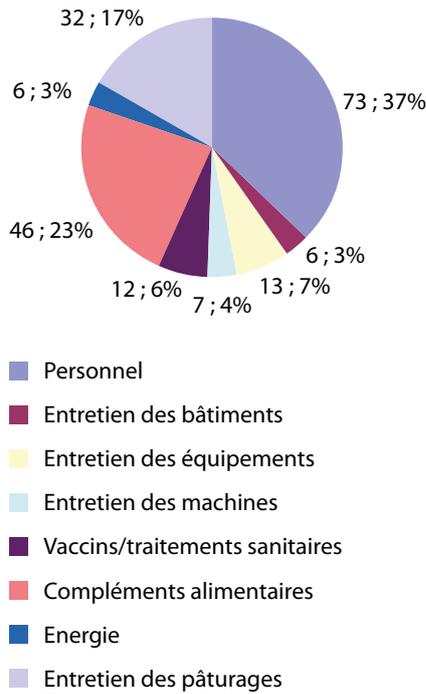


Figure 2 : charges opérationnelles des petites exploitations d'élevage en R\$/UGB

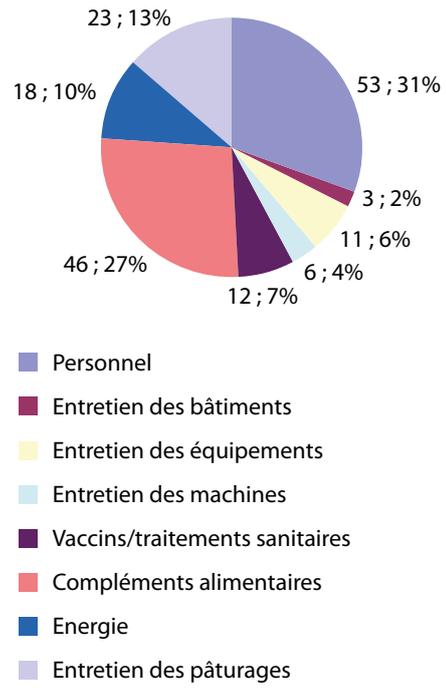


Figure 4 : charges opérationnelles des grandes exploitations d'élevage en R\$/UGB

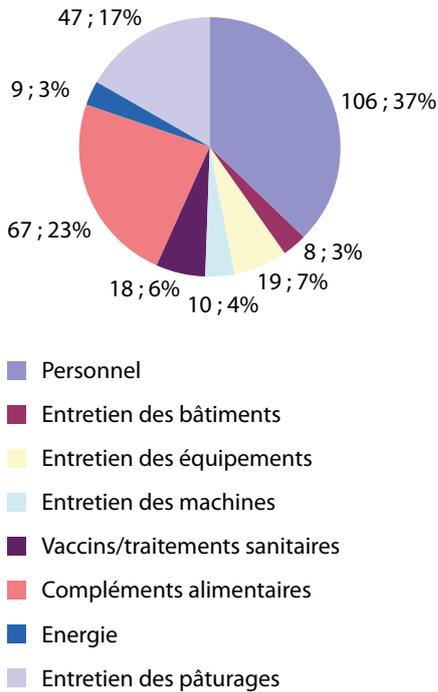


Figure 3 : charges opérationnelles des petites exploitations d'élevage en R\$/ha

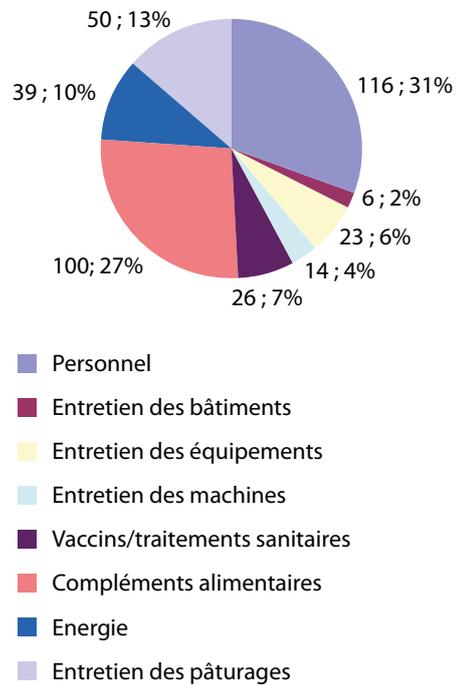


Figure 5 : charges opérationnelles des grandes exploitations d'élevage en R\$/ha

## 4. Estimation des émissions de carbone

### 4.1 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 avec des éléments pertinents de la méthodologie modulaire VM007.

#### 4.1.1 Durée du scénario de référence

D'après les lignes directrices du VCS, le scénario de référence doit être établi pour une durée de 5 à 10 ans, puis renouvelé à cette fréquence. Cependant, on présente ci-dessous une projection sur 25 années, de façon à pouvoir effectuer une comparaison avec notre scénario de projet, dont la durée est calée sur la durée minimale de rotation pour un aménagement forestier (25 ans).

#### 4.1.2 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 :
  - De type planifié : conversion des forêts privées en pâturages ;
  - De type non planifié : production agricole vivrière dans les asentamentos et terres indigènes ;
- Réduction des émissions de GES dues à la dégradation :
  - De type planifié : exploitation forestière légalement sanctionnée;
  - De type non planifié : prélèvements de bois de feu, bois de service ;
- Boisement/reboisement et augmentation des stocks de carbone forestier :
  - Boisement/reboisement des terrains non boisés, comme par exemple la récupération des APP ;
  - 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 REDD 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.

#### 4.1.3 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).

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.

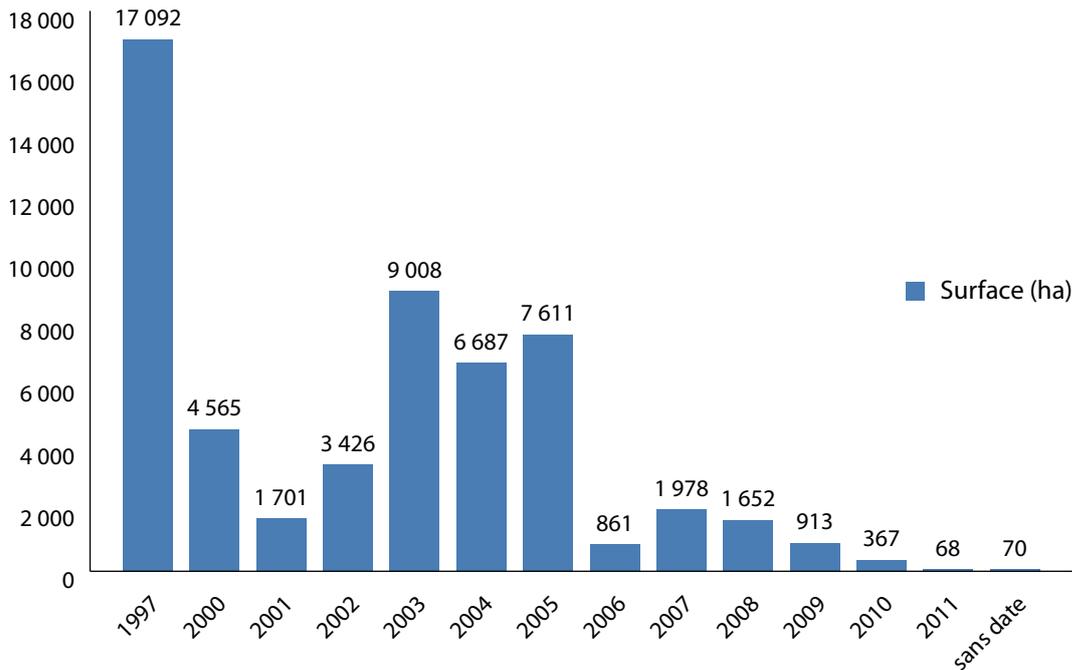


Figure 6 : Surface annuelle déboisée dans les propriétés privées de la Municipalité de Cotriguaçu (données PRODES)

Tableau 9 : Couverture du sol dans les propriétés privées de la Municipalité de Cotriguaçu en 2012 (données PRODES)

	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%
<b>Total</b>	<b>456 910</b>	<b>100%</b>

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.

On ne prend en compte dans cette étude que les émissions dues aux variations de stocks de carbone.

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, des 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.

- Compartiments biomasse aérienne, biomasse souterraine et bois mort :  
Pour la biomasse aérienne ligneuse, il est exigé d'utiliser des données collectées localement, au

**Tableau 10 : Equations allométriques disponibles pour estimer la biomasse sèche des arbres, palmes et lianes dans les forêts de l'Amazonie méridionale (source : ICV).**

Life from	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)

cours des dix années précédent 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 1 ha 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, il existait également des équations allométriques issues de travaux de recherche en Amazonie.

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).

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

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

En ce qui concerne les pâturages, faute de données locales, on retient la valeur par défaut des guides IPCC pour les pâturages dégradés en milieu tropical humide, soit 1 tC/ha.

A noter que lors de la conversion, les stocks de carbone de la biomasse souterraine et du bois mort ne sont pas émis directement dans l'atmosphère. Ainsi, les lignes directrices AFOLU du VCS recommandent d'utiliser une fonction linéaire des décompositions sur 10 ans pour ces compartiments. Cependant, dans notre scénario de référence, le déboisement cesse au bout de 10 ans faute de surfaces éligibles disponibles (cf. ci-dessous). Ainsi, sur la durée totale du scénario de référence, soit 25 ans, l'ensemble des stocks de carbone de ces compartiments auront bien été émis dans l'atmosphère. On considère donc que les émissions de ces compartiments sont instantanées car cela n'a pas d'impact sur l'estimation du total des émissions du scénario de référence (cela a un impact seulement sur la répartition des émissions dans le temps).

- Compartiment litière :  
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 (du fait d'une plus grande superficie maintenue sous couvert forestier) par rapport au scénario de référence.

- **Compartiment carbone du sol :**  
Le carbone du sol est un compartiment significatif mais l'on ne dispose pas de données locales permettant de prendre en compte ce compartiment. Son omission est conservative, dans la mesure où la conversion des forêts en pâturages, puis la dégradation des sols causée par les pratiques d'élevage non durables conduisent à une diminution des stocks de carbone du sol dans le scénario de référence par rapport au scénario de projet.
- **Compartiment produits bois:**  
Les produits bois doivent être pris en compte puisqu'une partie des stocks de carbone perdus lors de la conversion des forêts en pâturages se retrouve stockée sous forme de produits bois, du fait de la valorisation commerciale des essences de valeur à l'occasion des défrichements. Cela correspond à un stock de 3,49 tC/ha sur la base des paramètres (intensité de récolte, densité, contenu carbone, % de transformation) définis dans le scénario de projet. Cependant, ce stock est soumis à une décomposition et finalement émis dans l'atmosphère. Les lignes directrices AFOLU du VCS conseillent d'adopter par défaut un taux de décomposition linéaire sur 20 ans. L'exploitation forestière se poursuivant tout au long des 25 ans du scénario de référence, les calculs présentés ci-dessous prennent en compte le stockage de carbone dans les produits bois. Ce dernier est cependant négligeable, ne représentant à son maximum (en année 9 du scénario de référence) que 1,55% des émissions de carbone cumulées dues à la déforestation.

### 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

**Tableau 12 : Volumes de grumes autorisés entre 2006 et 2013 (données SEMA/SISFLORA)**

	Volumes de grumes autorisés (m <sup>3</sup> )
2006–2007	243 068,39
2008	138 926,80
2009	111 106,75
2011	150 900,40
2012	146 678,46
2013	25 574,06
Total 2006–2013	790 680,81
Moyenne annuelle 2006–2012 (m <sup>3</sup> )	109 301,39
Intensité de récolte moyenne (m <sup>3</sup> )	20,00
Surface annuelle exploitée (ha)	5 465,07

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

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 et corroborée par les résultats des enquêtes technico-économiques que nous avons réalisées.

En moyenne sur la période 2006-2012, la SEMA a accordé annuellement les autorisations pour 109 301 m<sup>3</sup> de grumes, ce qui correspond à une surface annuelle exploitée de 5 465 ha (intensité de récolte de 20 m<sup>3</sup>/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.

De même que pour les surfaces pouvant être exploitées, le facteur d'émission de l'exploitation doit être basé sur les pratiques légales d'exploitation, qui prévoient une durée de rotation minimum de 25 ans entre deux coupes sur une même parcelle. Selon ces normes, l'impact en matière d'émissions de carbone

de cette exploitation réalisée selon les normes légales est donc le même que celui d'une exploitation sous aménagement. On se base donc sur les résultats obtenus avec les mesures de terrain réalisées pour évaluer le scénario de projet. La valeur obtenue est un facteur d'émissions de 10,63 tC/ha. En pratique, ces normes ne sont généralement pas respectées et l'exploitation forestière conduit à une dégradation forestière beaucoup plus importante.

#### 4.1.4 Scénario de référence

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

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

Il peut être ajusté en fonction de paramètres explicatifs des tendances passées et futures de la déforestation et de la 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 permanence 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 à 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).

Pour calculer les surfaces devant être soustraites du fait des contraintes APP et de la réserve légale, on commence par déterminer la surface forestière initiale de la zone, en ajoutant la surface forestière en 2011 à la surface déboisée (données obtenues sous SIG par croisement des fichiers vecteur des propriétés rurales, APRT, avec les données PRODES, cf. Tableau 9), soit un total de 443 687 ha.

Le Tableau 13 ci-dessous montre la couverture du sol existant dans les APP en 2011 (données obtenues sous SIG en croisant les fichiers vecteurs des APP avec les données PRODES). On peut ainsi reconstituer la surface forestière initiale des APP, soit 49 799ha. Cette surface doit être exclue de la surface forestière totale initiale. On obtient ainsi une surface forestière initiale hors APP de 393 888 ha (cf. Tableau 14).

En appliquant la contrainte de réserve légale, 20% de cette surface est convertible légalement, soit 78 778 ha. Cependant, 49 090 ha ont déjà été convertis en dehors des APP. La surface hors APP pouvant encore être légalement convertie est donc de 29 688 ha.

Notons que les 6 906 ha déjà convertis au sein des APP doivent selon la loi être restaurés par les propriétaires, mais ceci n'est pas lié au scénario de référence de la déforestation.

#### Application des contraintes technico économiques

On peut considérer les propriétés rurales privées de la Municipalité de Cotriguaçu comme une zone relativement homogène en matière de conditions favorisant les activités d'élevage (accès aux marchés, sols, topographie, climat). En témoigne la répartition relativement homogène des déboisements dans l'espace.

Par ailleurs, l'exclusion des zones sous APP liées à l'application de la contrainte légale conduit à exclure de fait les zones les moins propices à l'élevage en raison de la topographie.

On fait donc l'hypothèse qu'aucune contrainte d'ordre technico-économique ne vient limiter la surface maximale pouvant être déboisée.

**Tableau 13 : couverture du sol dans les APP (2011)**

Couverture du sol dans les APP	Surface (ha)
Déboisements	6 906
Forêt	42 893
Hydrographie	713
Non forêt	2 752
Sans donnés	34
<b>Total</b>	<b>53 298</b>

**Tableau 14 : calcul de la surface légalement disponible pour conversion**

% de réserve légale	80%
Surface de forêt	387 691
Surface déboisée	55 996
Surface de forêt initiale	443 687
Surface forestière initiale APP	49 799
Surface forestière initiale hors APP	393 888
Surface totale convertible	78 778
Surface déjà convertie dans les APP	6 906
Surface déjà convertie hors APP	49 090
Surface disponible pour conversion	29 688

### 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 suivants :

- L'exploitation forestière est conforme à 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

On doit exclure la surface forestière des APP, où l'exploitation forestière n'est pas autorisée, comme pour la déforestation planifiée. Une surface de 344 798 ha est ainsi légalement exploitable (cf. Tableau 15). Cependant, d'après le scénario de référence retenu, une surface de 29 688 ha sera déboisée, ne laissant plus que 315 111 ha disponibles pour l'exploitation forestière.

**Tableau 15 : surface maximale disponible pour l'exploitation**

Surface de forêt existante	387 691
Surface de forêt dans APP	42 893
Surface de forêt exploitable	344 798
Surface de déboisement projetée	29 688
Surface maximale disponible pour l'exploitation	315 111

Application des contraintes technico économiques  
L'exclusion des APP exclut de fait les surfaces impropres à l'exploitation forestière en raison de critères topographiques et/ou hydrographiques.

La répartition dans l'espace des plans d'aménagement autorisés par la SEMA est relativement homogène, laissant penser que des critères d'accès ne sont pas une limite à l'exploitation.

Par contre, l'état de préservation des forêts, et en particulier la richesse en arbres exploitables d'essences commercialement intéressantes pourrait limiter la surface totale exploitable. Cependant, même en faisant l'hypothèse que 50% des surfaces légalement exploitables présenteraient une viabilité commerciale pour l'exploitation, soit 155 755 ha, cela représente plus de 28 ans d'exploitation au rythme moyen de 5 465 ha adopté comme taux d'activité.

On peut donc considérer que la contrainte technico-économique n'est pas limitante.

#### Projection des émissions du scénario de référence

Le Tableau 16 ci-dessous présente les résultats obtenus pour chaque volet, déforestation et dégradation, en appliquant les données d'activité (surfaces en ha) aux facteurs d'émissions ( $tCO_2e/ha$ ). Le stockage dans les produits bois est par ailleurs estimé et décompté pour le volet déforestation. Pour le volet dégradation, le facteur d'émission proposé (issu des travaux de la section sur le scénario REDD) inclut déjà un décompte du stockage dans les produits bois.

Au bout de la période de 25 ans, le cumul des émissions du scénario de référence est de 24,035 (est -ce une virgule ???) millions de  $tCO_2e$ , dont 78% en raison de la déforestation et 22% en raison de la dégradation.

Tableau 16 : émissions du scénario de référence

Année	Scénario de référence de déforestation planifiée							Scénario de référence de dégradation planifiée						
	Surface de forêt (ha)	Surface déboisée/ an (ha)	Surface déboisée cumulée (ha)	Facteur d'émissions de la déforestation (tCO <sub>2</sub> /ha)	Emissions annuelles (tCO <sub>2</sub> )	Stocks cumulés dans les produits bois (tCO <sub>2</sub> )	Emissions cumulees (tCO <sub>2</sub> )	Surface dégradée/ an (ha)	Surface dégradée cumulée (ha)	Facteur d'émissions de la dégradation (tCO <sub>2</sub> /ha)	Emissions annuelles (tCO <sub>2</sub> )	Emissions cumulees (tCO <sub>2</sub> )	Total des Emissions cumulees (tCO <sub>2</sub> )	
0	387 691		631	-	-	-	-			39	-	-	-	
1	384 434	3 257	3 257	631	2 054 144	39 618	2 014 526	5 465	5 465	39	213 010	213 010	2 227 536	
2	381 177	3 257	6 514	631	2 054 144	77 152	4 031 137	5 465	10 930	39	213 010	426 020	4 457 157	
3	377 920	3 257	9 771	631	2 054 144	112 600	6 049 833	5 465	16 395	39	213 010	639 031	6 688 864	
4	374 663	3 257	13 028	631	2 054 144	145 963	8 070 615	5 465	21 860	39	213 010	852 041	8 922 656	
5	371 406	3 257	16 286	631	2 054 144	177 240	10 093 482	5 465	27 325	39	213 010	1 065 051	11 158 533	
6	368 148	3 257	19 543	631	2 054 144	206 433	12 118 433	5 465	32 790	39	213 010	1 278 061	13 396 495	
7	364 891	3 257	22 800	631	2 054 144	233 540	14 145 470	5 465	38 255	39	213 010	1 491 071	15 636 542	
8	361 634	3 257	26 057	631	2 054 144	258 563	16 174 593	5 465	43 721	39	213 010	1 704 082	17 878 674	
9	358 377	3 257	29 314	631	2 054 144	281 500	18 205 800	5 465	49 186	39	213 010	1 917 092	20 122 892	
10	358 003	374	29 688	631	235 705	267 279	18 455 725	5 465	54 651	39	213 010	2 130 102	20 585 827	
11	358 003		29 688	631		248 273	18 474 731	5 465	60 116	39	213 010	2 343 112	20 817 844	
12	358 003		29 688	631		229 267	18 493 737	5 465	65 581	39	213 010	2 556 122	21 049 860	
13	358 003		29 688	631		210 261	18 512 743	5 465	71 046	39	213 010	2 769 133	21 281 876	
14	358 003		29 688	631		191 255	18 531 749	5 465	76 511	39	213 010	2 982 143	21 513 892	
15	358 003		29 688	631		172 249	18 550 755	5 465	81 976	39	213 010	3 195 153	21 745 908	
16	358 003		29 688	631		153 244	18 565 761	5 465	87 441	39	213 010	3 408 163	21 977 924	
17	358 003		29 688	631		134 238	18 588 767	5 465	92 906	39	213 010	3 621 173	22 209 940	
18	358 003		29 688	631		115 232	18 607 773	5 465	98 371	39	213 010	3 834 184	22 441 956	
19	358 003		29 688	631		96 226	18 626 779	5 465	103 836	39	213 010	4 047 194	22 673 972	
20	358 003		29 688	631		77 220	18 645 784	5 465	109 301	39	213 010	4 260 204	22 905 988	
21	358 003		29 688	631		60 299	18 662 705	5 465	114 766	39	213 010	4 473 214	23 135 919	
22	358 003		29 688	631		45 464	18 677 541	5 465	120 232	39	213 010	4 686 224	23 363 765	
23	358 003		29 688	631		32 713	18 690 291	5 465	125 697	39	213 010	4 899 235	23 589 526	
24	358 003		29 688	631		22 048	18 700 956	5 465	131 162	39	213 010	5 112 245	23 813 201	
25	358 003		29 688	631		13 468	18 709 536	5 465	136 627	39	213 010	5 325 255	24 034 791	

## 4.2 Evaluation du scénario REDD

Le scénario REDD 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, qui font l'objet de cette section ;
- Les émissions de GES liées à l'élevage. Nous les ignorons dans ce cas de façon conservatrice, dans la mesure où le programme conduira à une réduction des surfaces dédiées à l'élevage et du nombre de têtes de bétail.

### 4.2.1 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 de 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. Ces travaux ont fait l'objet d'un appui méthodologique de Lilian Blanc, expert du CIRAD, dans le cadre d'une mission sur le terrain réalisée en juin 2012 (cf. rapport en annexe).

On présente ici une synthèse du protocole et des résultats obtenus. Notons que les émissions de GES dues à la consommation de carburants et d'énergie des opérations d'exploitations ne sont pas prises en compte.

### Paramètres à prendre en compte

#### Les principales activités émettrices

Les flux entre les compartiments de carbone liés à l'exploitation forestière sont représentés dans la Figure 7 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

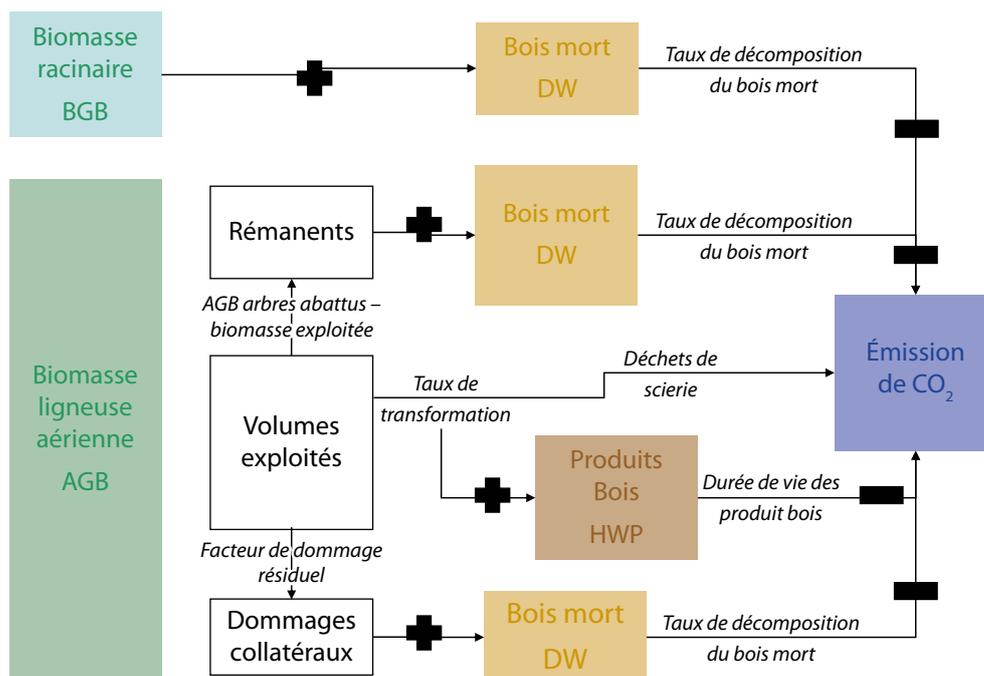


Figure 7 : flux entre les compartiments de carbone liés à l'exploitation forestière

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 distingue 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 plus ou moins importante, est faite dans la canopée. 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 tampons affectées ainsi que la perte de biomasse correspondante. Lors de l'étude réalisée sur la zone de Cotriguaçu, on a donc mesuré les arbres vivants sur pied ou au sol, intacts ou blessés avec pour 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 similaires 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 des rémanents laissés sur site après abattage des arbres se 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 les types de produits bois  
On cherche ici à connaître le pourcentage de la grume arrivant en scierie qui sera réellement valorisée en produits bois. Il est généralement de l'ordre de 50 à 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 de l'exploitation et immédiatement après. 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 17 ci-dessous.

### 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, le nombre, la taille et la 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 exclut 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, d'hydrographie, d'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 tampons 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 lignes directrices AFOLU du VCS et suit les critères des méthodologies VCS VM0010 et VM0011. Les compartiments qu'il est nécessaire d'étudier afin d'obtenir la valeur la plus précise

**Tableau 17 : Résumé des activités émettrices de l'exploitation forestière et du mode d'acquisition des données correspondantes**

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	Télé-détection + Tracé des pistes en routine après exploitation (GPS) + mesure de largeur des pistes secondaires
Dégâts d'exploitation	Superficie des trouées d'abattage	Télé-détection
Dommage collatéraux	arbres exploités, arbres morts ou arbres blessés avec pour chacun un code spécifique selon l'intensité des blessures	Mesures de terrain
Pourcentage de rémanents laissés 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

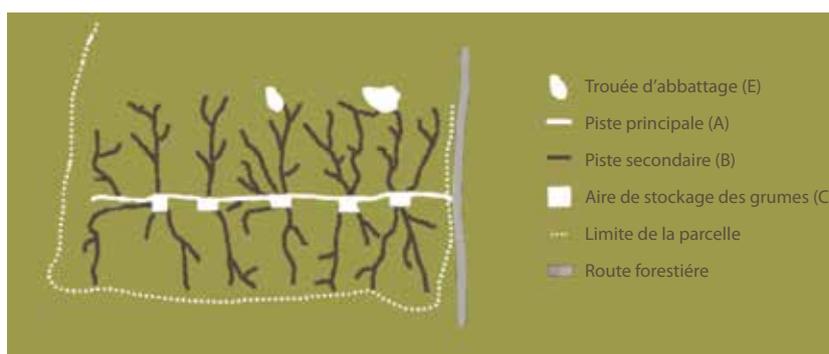


Figure 8 : stratification des forêts exploitées dans le scénario de projet

Tableau 18 : Choix des compartiments pour l'estimation des émissions de carbone dues à l'exploitation forestière

Compartiments	Statut	Justification	
AGB l	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

et conservatrice des émissions de carbone dues à l'exploitation forestière sous aménagement durable sont définies dans le Tableau 18 ci-dessous.

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 comme 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 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 de 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 d'unités 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 sol et litière sont donc exclus.

#### 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, un système d'observation optique composé de deux satellites identiques, qui fournit 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, avec une taille minimum de 2 500 m<sup>2</sup>. Les mesures concernent tous les arbres de plus de 35 cm de Dhp.

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 par exemple). Cependant pour que les données correspondent aux données utilisées dans ce protocole, on devra compléter les mesures en prenant en compte les arbres entre 10 et 35 cm de Dhp.

Dans le cas où aucune parcelle permanente de suivi ne serait présente sur la parcelle d'exploitation ou si

**Tableau 19 : Intensité d'échantillonnage selon la taille des parcelles**

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

les données ne permettent pas d'obtenir un résultat fiable, c'est à dire un taux d'erreur faible, on 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<sub>st</sub> = quantile de Student avec un intervalle de confiance de 95% et un degré de liberté de n-1

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 (E), soit un intervalle de confiance de 95%. Ensuite pour chaque strate on détermine le nombre de placettes nécessaires en pondérant par les superficies correspondantes.

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

- L'erreur désirée sur la quantité de biomasse (10 %)

- 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%, la surface de la placette doit être ajustée.

- Placettes pour estimer les dommages collatéraux : Ces placettes sont décrites en annexe.

## Fréquence des mesures

**Tableau 20 : Fréquence de mesure des paramètres de suivi de l'impact carbone de l'exploitation forestière**

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
Dommage 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 programme

## 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 affectées 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 affectée avec un mélange d'arbres morts, blessés et vivants. Ces zones se trouvent en périphérie de chaque zone de la classe précédente, nous les nommons 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.

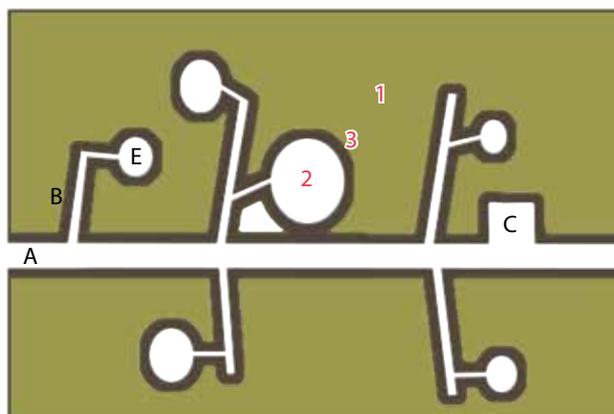
On considère les trouées comme des zones sans végétation au sol, car même s'il reste des branchages grossiers, le bois étant mort il ne présente plus aucun signal et l'image satellite montre une zone de sol nu.

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 difficile de distinguer la limite entre les deux impacts, on applique la limite de la trouée sur toute la zone concernée.

### 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 systématique 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.
- Estimation des surfaces des zones tampons  
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



- 1 Zone non exploitée  
Forêt intacte
- 2 Zone sans végétation  
Trouée d'abattage (E)  
Piste principale (A)  
Piste secondaire (B)  
Parc de stockage (C)
- 3 Zone tampons  
Peuplements résiduels

Figure 9 : Représentation des trois strates définies au sein de la parcelle d'exploitation

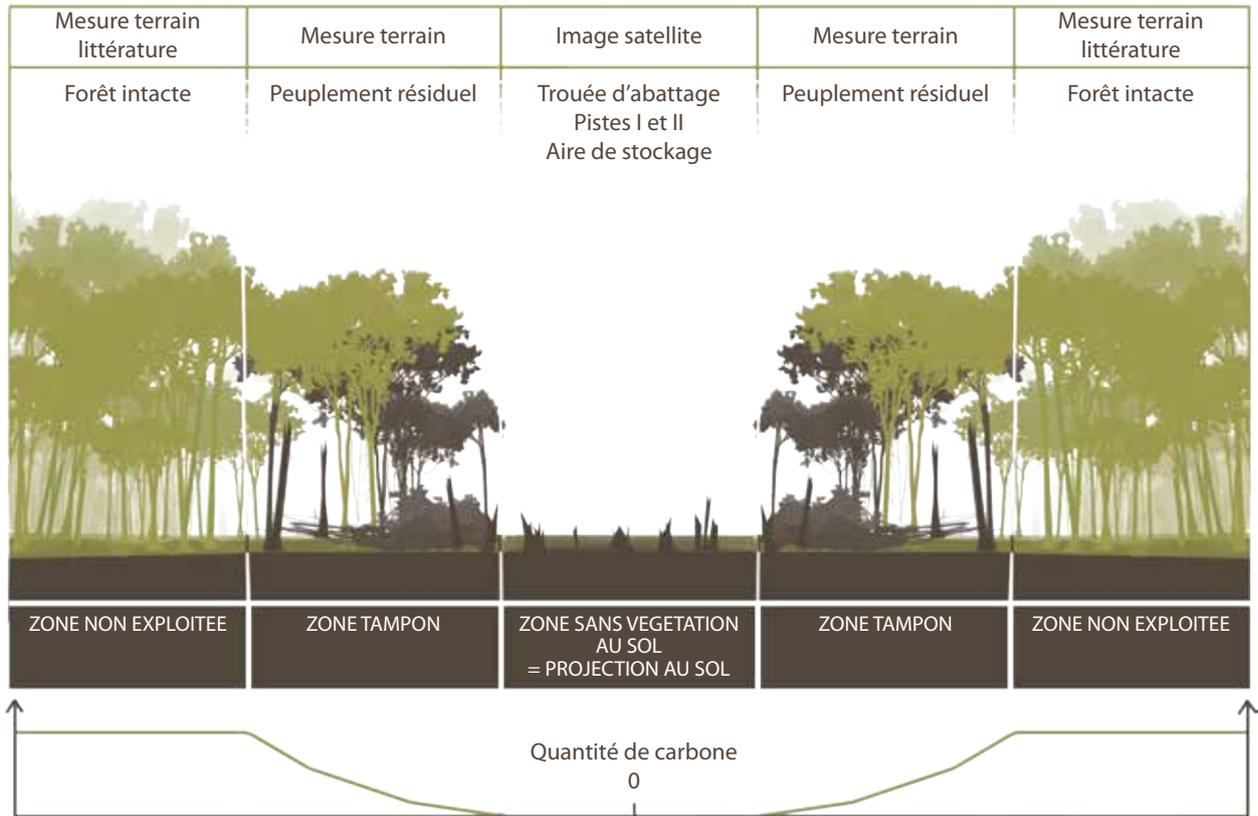


Figure 10 : représentation des différentes zones après stratification

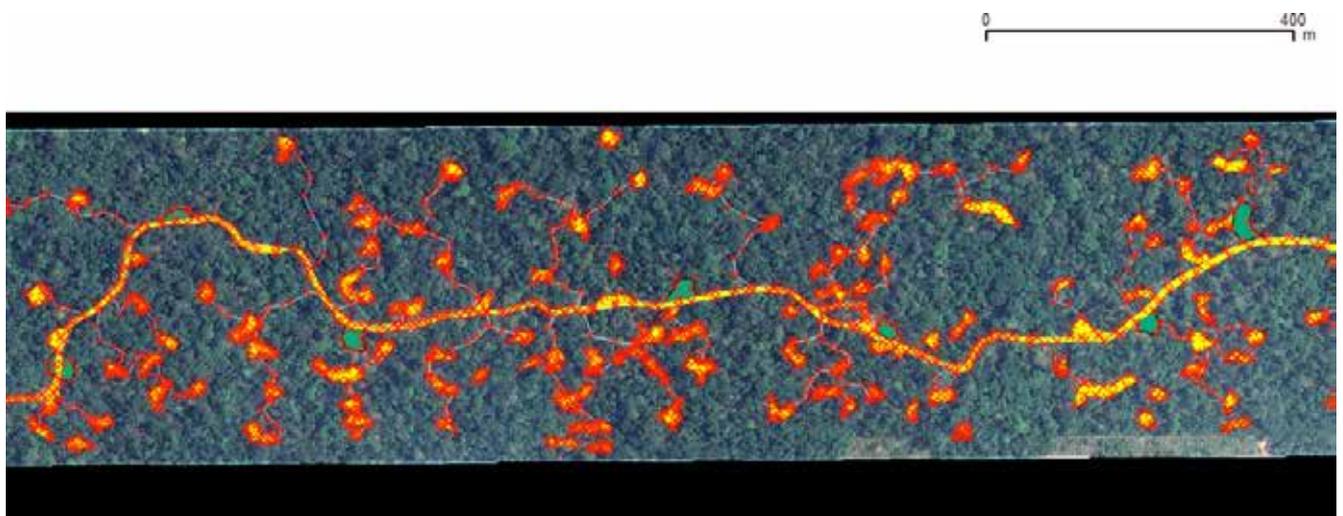


Figure 11 : Représentation des dégâts d'exploitation de l'exploitation Nossa Senhora Aparecida sur l'image satellite Pleiades

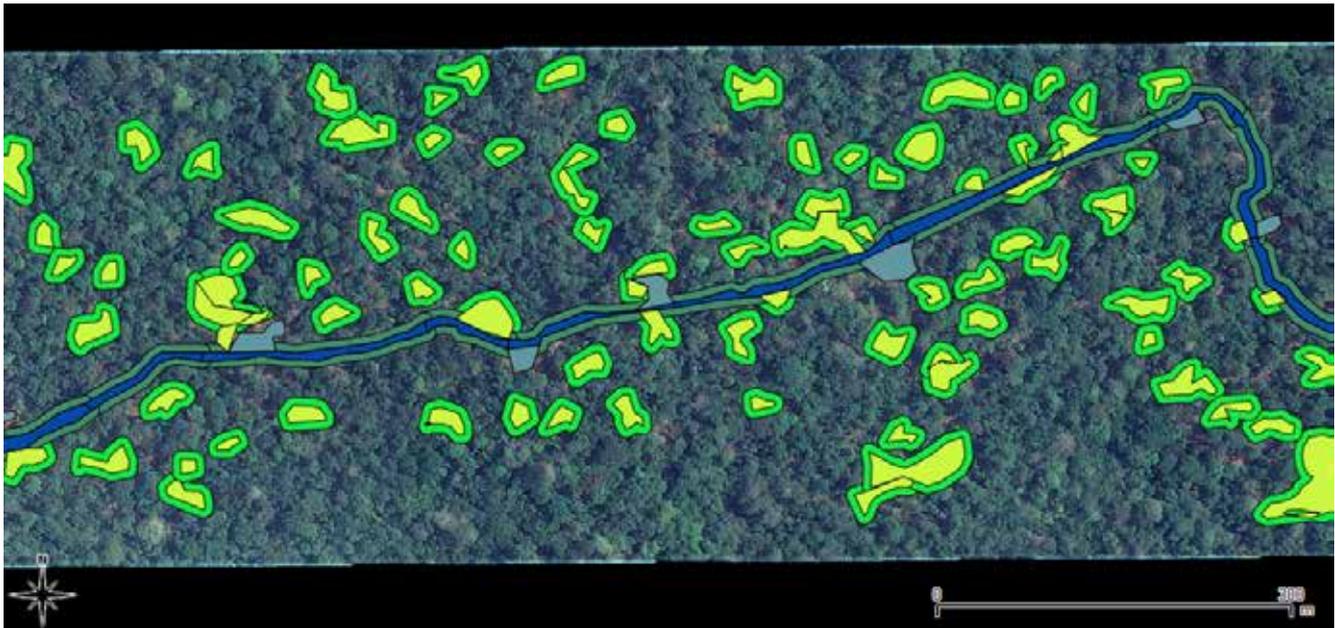


Figure 12 : Représentation des trouées et de la piste principale et de leur zone tampon.

pistes secondaires et des parcs de stockage des grumes. Toutes traces, marques et blessures occasionnées par l'exploitation donc par les machines ou par les arbres abattus sont considérées ici comme des dégâts.

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 (cf. annexe). Conformément aux recommandations des méthodologies VCS, la mesure du diamètre était effectuée à 1,30 m. 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 pré-comptage 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 minimum de placettes (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 desquelles l'équipe de mesure restait sur l'exploitation) espacées chacune de 1 à 2 semaines.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 21. 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 était 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 mètres linéaires) 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 (tampon) », en se basant sur les limites données dans le Tableau 21 ci-dessus.

Tableau 21 : Limites des zones tampons et nombre de placettes de mesures pour chaque type de dégâts

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 22 : surfaces des zones sans végétation et des zones tampons

Surface affectée	Zones sans végétation		Zones tampons	
	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
<b>Total</b>	<b>39,7</b>	<b>11,2</b>	<b>78,7</b>	<b>22,2</b>

- 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 (cf. section scénario de référence).
- Estimation des coefficients de dégâts dans les zones tampons  
Les mesures réalisées sur les deux sites ont permis 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.  
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 tronc (DT) et ils sont divisés en trois sous-catégories d'intensité croissante 1, 2 et 3. 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 tC/ha) dans les zones exploitées est réalisée

en utilisant une méthodologie similaire à celle utilisée dans les zones hors exploitation. 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 proposées par Nogueira et al. (2008) y ont été intégrées. Les valeurs de densité du bois utilisées ont été extraites de la base de données générale des densités spécifiques de bois (Global wood density database, Chave et al., 2009).  
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 gravement blessés et qui

**Tableau 23 : Equations allométriques utilisées pour estimer la biomasse sèche (AGB) de chaque individu**

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 24: Perte de biomasse pour chaque type de dégâts pour les deux exploitations**

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
<b>Toutes zones confondues</b>				<b>10,5</b>
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
<b>Toutes zones confondues</b>				<b>10,2</b>

allaient mourir dans l'année de leurs blessures (intensité de dégâts code 3).

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 tampons.

- Biomasse des grumes commercialisées

La quantité de biomasse des grumes commercialisables se calcule 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 m<sup>3</sup> 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 de carbone.

- Pourcentage de rémanents laissés sur site après abattage des arbres  
Le pourcentage de rémanents laissés sur site après abattage des arbres est estimé en soustrayant la biomasse de grumes commercialisées de la biomasse totale des trouées d'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

**Tableau 25 : Estimation des rémanents laissés sur site après abattage**

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	%

(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).

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,  $M_t = M_0 e^{-kt}$ . Il est déterminé par 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) en prenant en compte la densité moyenne de

toutes les espèces échantillonnées au sein de l'exploitations :  $K_{LWB} = (0.918 - 0.738 * WSG_{moy exploitation})$ . 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.
- 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 dans un délai de 3 à 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

**Tableau 26 : Paramètres de l'équation de la biomasse aérienne (Nogueira et al. 2008)**

Modelo	Parâmetros <sup>a</sup>							n	r <sup>2</sup> ajustado	SEE <sup>c</sup>
	$\alpha$ ( $\pm$ SE)	95% IC <sup>b</sup>		$\beta$ ( $\pm$ SE)	95% IC <sup>b</sup>					
		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 27 : Croissance et recrutement. Biomasse aérienne moyenne (écart-type) sur le site de Paracou (Sist et al. 2012) :**

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 28 : Taux de décomposition des différents types de produits bois (Winrock)**

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

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.

#### 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 25 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 ;
  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 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 on fait l'hypothèse qu'une séquestration équivalente aurait eut lieu sans exploitation forestière. On ignore également les zones tampons, 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

**Tableau 29 : pertes de stocks de carbone de la biomasse vivante pour une année sur une assiette annuelle de coupe de 414 ha (Vérifier Zones NOUS ??? affectées)**

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%
<b>Toutes zones confondues</b>	<b>67 126</b>	<b>7 755</b>	<b>11,6%</b>

**Tableau 30 : destination des stocks de carbone de la biomasse vivante pour une année sur une assiette annuelle de coupe de 414 ha**

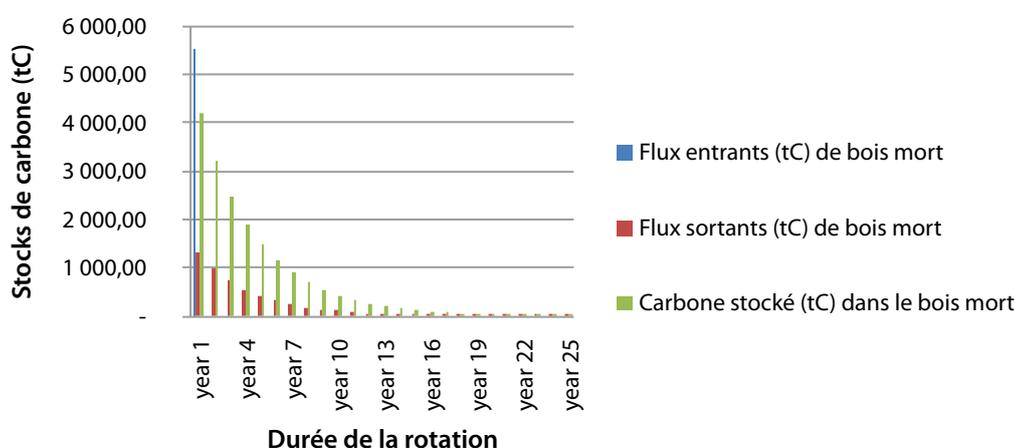
Destination des stocks de carbone de biomasse vivante perdus		
	Stocks de C (tC)	% du total perdu
Bois mort	5 508	71,0%
Grumes	2 248	29,0%
- dont déchets de scierie	1 011	13,0%
- dont produits bois	1 236	15,9%
<b>Total</b>	<b>7 755</b>	<b>100,0%</b>

et par an pendant les 20 premières années suivant l'exploitation.

Le Tableau 31 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.

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 191 tC/an pour l'ensemble de la surface, soit 92 tC/ha ou 0,46 tC/ha/an.

**Figure 13 : émissions de carbone du compartiment bois mort pour une AAC de 414 ha**

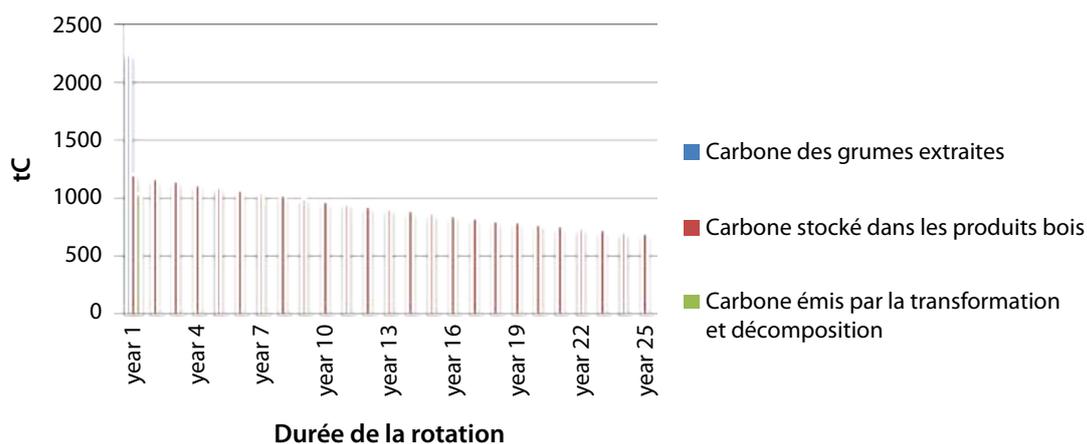


Figure 14 : émissions de carbone du compartiment produits bois pour une AAC de 414 ha

Tableau 31 : émissions nettes sur l'AAC pour l'ensemble des 20 ans de la durée de 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	1 001	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
Année 21	-	18	8	26	129	103
Année 22	-	17	7	24	129	106
Année 23	-	17	5	22	129	107
Année 24	-	17	4	21	129	109
Année 25	-	16	3	19	129	110
<b>Total</b>	<b>1 001</b>	<b>541</b>	<b>5 496</b>	<b>7 048</b>	<b>3 237</b>	<b>3 811</b>
<b>Total/année</b>	<b>51</b>	<b>27</b>	<b>275</b>	<b>352</b>	<b>162</b>	<b>191</b>

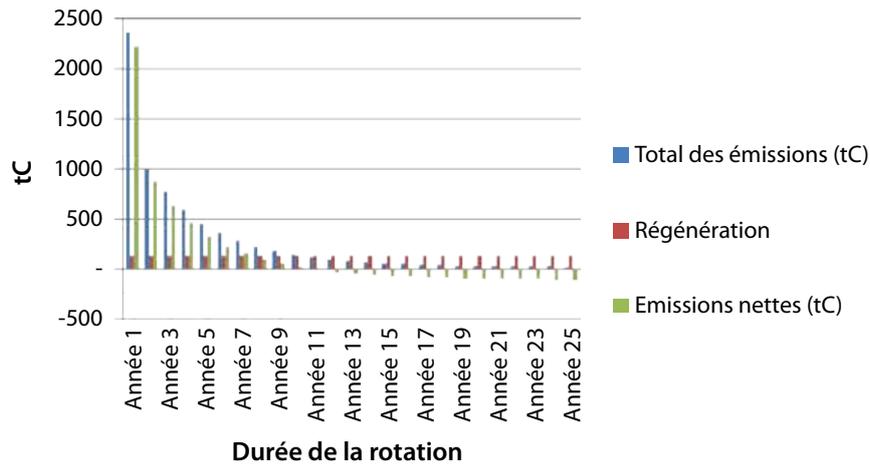


Figure 15 : bilan net des émissions sur l'AAC NSA (414 ha)

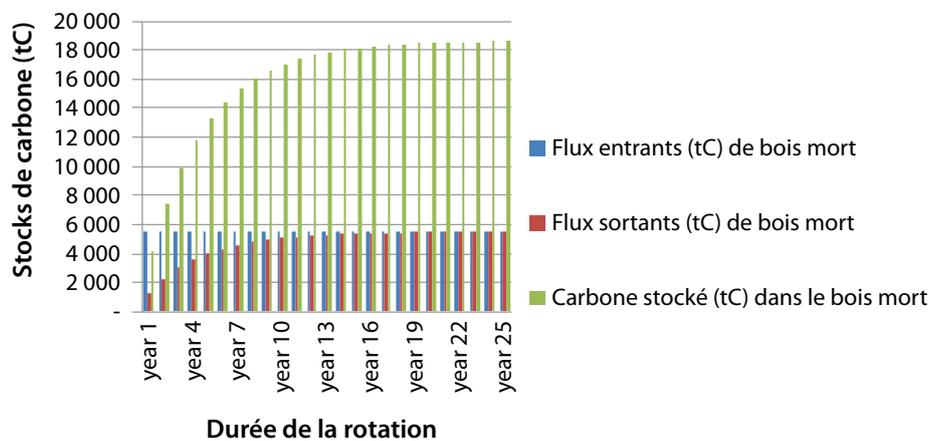


Figure 16 : émissions du compartiment bois mort sur l'ensemble de la surface aménagée

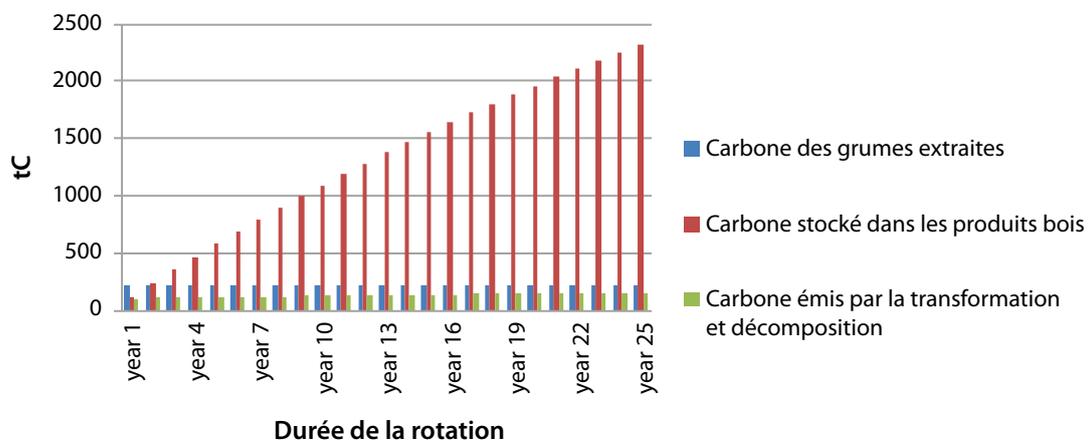


Figure 17 : émissions du compartiment produits bois sur l'ensemble de la surface aménagée

- 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 25 ans entre 25 assiettes annuelles de coupe d'une superficie de 414 ha, dont 354 ha sont exploités.

Les émissions de carbone nettes sont de 4 399 tC/an pour l'ensemble de la surface, soit 10,63 tC/ha ou 0,43 tC/ha/an.

**Tableau 32 : Emissions nettes sur l'ensemble de la surface aménagée et sur l'ensemble 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	1 001	28	1 315	2 355	129	2 225
Année 2	1 001	56	2 295	3 362	259	3 103
Année 3	1 001	82	3 032	4 126	388	3 737
Année 4	1 001	109	3 591	4 711	518	4 193
Année 5	1 001	134	4 019	5 165	647	4 517
Année 6	1 001	159	4 348	5 519	777	4 742
Année 7	1 001	184	4 603	5 798	906	4 891
Année 8	1 001	208	4 800	6 019	1 036	4 983
Année 9	1 001	231	4 953	6 196	1 165	5 031
Année 10	1 001	254	5 073	6 339	1 295	5 044
Année 11	1 001	276	5 167	6 455	1 424	5 030
Année 12	1 001	298	5 240	6 550	1 554	4 996
Année 13	1 001	319	5 298	6 629	1 683	4 945
Année 14	1 001	340	5 343	6 694	1 813	4 882
Année 15	1 001	361	5 378	6 750	1 942	4 808
Année 16	1 001	381	5 406	6 798	2 072	4 726
Année 17	1 001	400	5 428	6 839	2 201	4 638
Année 18	1 001	419	5 445	6 875	2 331	4 545
Année 19	1 001	438	5 458	6 907	2 460	4 447
Année 20	1 001	456	5 469	6 936	2 590	4 346
Année 21	1 001	474	5 477	6 962	2 719	4 243
Année 22	1 001	491	5 484	6 986	2 849	4 137
Année 23	1 001	508	5 489	7 008	2 978	4 030
Année 24	1 001	524	5 493	7 029	3 108	3 921
Année 25	1 001	541	5 496	7 048	3 237	3 811
<b>Total</b>	<b>25 285</b>	<b>7 670</b>	<b>119 099</b>	<b>152 054</b>	<b>42 082</b>	<b>109 973</b>
<b>Total/année</b>	<b>1 001</b>	<b>307</b>	<b>4 764</b>	<b>6 082</b>	<b>1 683</b>	<b>4 399</b>

# 5. Evaluation de la viabilité financière et économique du programme REDD

## 5.1 Paramètres utilisés dans le modèle

### 5.1.1 Paramètres généraux

#### Durée

On adopte une durée de 25 ans, qui correspond à la durée minimum d'une rotation pour l'exploitation forestière sous aménagement. La durée du programme pourrait être supérieure, de 30 voire 35 ans si l'on choisit une durée de rotation plus longue.

Le programme a démarré en 2012.

#### Taux d'actualisation

Les valeurs utilisées dans la littérature récente pour des analyses financières dans la Municipalité et l'Etat du Mato Grosso varient de 6,75% (Strassburg et al.) à 12% (IFT, 2010). Dans un premier temps, on adopte 6,75%. L'analyse de sensibilité permet de tester l'impact d'une hausse du taux d'actualisation dans un second temps.

#### Taux d'inflation

Dans un premier temps, l'analyse est réalisée sans prendre en compte d'inflation générale sur les prix. L'analyse de sensibilité permet de tester l'effet de l'inflation dans un second temps.

### 5.1.2 Usages du sol : surfaces des changements et stocks de carbone associés

#### Surfaces

Les surfaces de changements d'usage du sol du scénario de référence sont déduites des estimations réalisées dans la section correspondante ci-dessus.

Les surfaces de changements d'usage du sol du scénario REDD correspondent aux objectifs du programme. On peut à ce titre tester plusieurs scénarii REDD avec le modèle en termes de réductions d'émissions et de coût par tonne de CO<sub>2</sub>e évitée.

En premier lieu, on part sur un objectif de réduction de la déforestation de 80%. Seuls 5 938 ha sont convertis en pâturages en comparaison avec les 29 688 ha projetés dans le scénario de référence. En

contrepartie, il est prévu (1) un fort accroissement de l'exploitation forestière, de 136 627 ha projetés dans le scénario de référence à 344 798 ha, avec une généralisation de l'aménagement durable, (2) le passage aux bonnes pratiques de durabilité préconisées par l'Embrapa de 50% de la surface de pâturages existants au début du programme.

#### Variations de stocks de carbone

Ces données sont déduites des estimations réalisées dans la section correspondante ci-dessus.

Notons que nous ne considérons pas de différence de stocks de carbone du fait du passage à l'aménagement durable. De fait, le scénario de référence de la dégradation planifiée, due à l'exploitation forestière conventionnelle, est basé sur les pratiques d'exploitation légales, qui prévoient une durée de rotation minimum de 25 ans entre deux coupes sur une même parcelle. L'impact en matière d'émissions de carbone de cette exploitation réalisée selon les normes légales est donc le même que celui d'une exploitation sous aménagement. En pratique, ces normes ne sont généralement pas respectées et l'exploitation forestière conduit à une dégradation forestière beaucoup plus importante.

Les données sur les stocks de carbone des pâturages sont issues des facteurs par défaut du GIEC pour les zones tropicales humides des pâturages (élevage BPA) et les sols dégradés (élevage conventionnel).

### 5.1.3 Rentabilités sectorielles retenues

Le modèle nécessite d'entrer les données relatives aux coûts et revenus de chacune des activités économiques rencontrées dans les différents scénarios. Ces données (cf. annexe) ont été obtenues à partir des enquêtes de terrain menées sur l'élevage et l'exploitation conventionnelle dans la région et des données issues de la littérature.

#### Exploitation forestière

L'exploitation forestière conventionnelle prévoit une exploitation de l'ensemble de la propriété sur 6 ans. Malgré des investissements initiaux conséquents, liés notamment à l'achat de la propriété forestière et à l'acquisition d'équipement, l'activité d'exploitation

Tableau 33 : surfaces des changements d'usage du sol du scénario de référence

Scénario de référence	2012	2037	2012 - 2037	
Usages du sol	Surfaces (ha)	Surfaces (ha)	Changements d'usage du sol	Surface (ha)
Forêt non exploitée	387 691	221 376	Forêt non exploitée => élevage conventionnel	29 688
Forêt exploitée – Exploitation conventionnelle		136 627	Forêt non exploitée => Forêt exploitée – exploitation conventionnelle	136 627
Pâturages - Elevage conventionnel	55 996	85 684		
<b>Total</b>	<b>443 687</b>	<b>443 687</b>		

Tableau 34 : surfaces des changements d'usage du sol du scénario REDD+

Scénario REDD	2012	2037	2012 - 2037	
Usages du sol	Surfaces (ha)	Surfaces (ha)	Changements d'usage du sol	Surface (ha)
Forêt non exploitée	387 691	36 955	Forêt non exploitée => élevage conventionnel	5 938
Forêt exploitée – Exploitation aménagement durable		344 798	Forêt non exploitée => Forêt exploitée – aménagement durable	344 798
Pâturages - Elevage conventionnel	55 996	33 936	Elevage conventionnel => élevage selon bonnes pratiques	27 998
Pâturages - Elevage selon bonnes pratiques		27 998		
<b>Total</b>	<b>443 687</b>	<b>443 687</b>		

Tableau 35 : stocks de carbone des divers usages du sol

Usages du sol	Stocks de carbone (tCO <sub>2</sub> /ha)
Forêt non exploitée	633,33
Forêt exploitée – Exploitation conventionnelle	595,36
Forêt exploitée – Aménagement durable	595,36
Pâturages - Elevage conventionnel	3,67
Pâturages - BPA	27,50

est rentable sur l'ensemble de la durée d'exploitation de la propriété. La valeur actuelle nette par hectare est d'environ 545 R\$.

Dans le scénario REDD+, l'activité d'exploitation forestière conventionnelle est remplacée par une exploitation sous plan d'aménagement durable. L'unique changement pris en compte dans cette activité d'exploitation par rapport à l'exploitation conventionnelle est l'allongement de la durée de

rotation qui s'élève à 25 ans. Les coûts et revenus par hectare sont les mêmes dans les deux types d'exploitation ; seule leur répartition dans le temps est différente. La valeur actuelle nette par hectare chute à environ 184 R\$.

### Elevage

L'élevage conventionnel prévoit une production sur la surface entière de la propriété tout au long du projet (pas de rotation prise en compte). La production animale se fait sur l'ensemble de la propriété et est estimée à 89kg/ha pour un prix moyen d'un peu plus de 5R\$/kg. De plus, la conversion des forêts en pâturage entraîne un revenu lié à la vente du bois après conversion la première année, qui est estimé à 2000 R\$/ha. De lourds investissements initiaux (d'achat du foncier, d'équipements et du bétail) et récurrents (lié au maintien des pâturages et à l'entretien des installations) entraînent un déficit des exploitations sur 20 ans. En effet, la valeur actuelle nette par hectare est négative : - 1720 R\$/ha.

Néanmoins si l'on considère que les exploitations sont déjà existantes et donc que les coûts d'investissements ont déjà été réalisés, la valeur

actuelle nette par hectare de l'élevage conventionnel devient positive : 759 R\$.

Notons que si l'on inclut les revenus potentiels provenant de la revente à terme du foncier, la valeur actuelle nette par hectare de l'élevage devient positive. L'espoir de plus-value foncière apparaît ainsi comme une des motivations premières du déboisement.

Le scénario REDD+ prévoit de favoriser la conversion d'une partie des pâturages conventionnels en pâturages améliorés plus productifs. En effet, selon différentes études l'amélioration du pâturage conventionnel entraînerait un meilleur rendement à l'hectare. D'après Strassburg et al., cette productivité pourrait être presque deux fois supérieure. Nous admettons ici que le pâturage amélioré permet d'obtenir un rendement à l'hectare de 168Kg/ha, soit une augmentation de 88%. Cependant, l'investissement initial permettant la transition vers un pâturage amélioré est important, et comprend notamment des coûts additionnels d'achat du bétail, de gestion et planification et d'équipements. Nous avons appliqué ces différentiels de coûts et revenus issus de la littérature aux paramètres collectés grâce aux enquêtes de terrain sur l'élevage conventionnel. D'après nos estimations, le passage d'un élevage conventionnel à un élevage sous BPA procure une valeur actuelle nette par hectare négative : - 896 R\$.

## Coûts spécifiques au programme REDD+

### Coûts de mise en œuvre

On entend par coûts de mise en œuvre les coûts qui seraient supportés par les promoteurs du programme, les autorités publiques et leurs partenaires investisseurs, afin d'établir les conditions nécessaires à la réalisation du scénario REDD+ : réformes institutionnelles, activités d'appui technique aux propriétaires.

On se base sur les actions déjà en cours dans la municipalité de Cotriguaçu :

1. Clarification de la tenure foncière et mise en place d'un cadastre des propriétés rurales : 1 000 000 R\$ ;
2. Programme d'appui au développement d'un secteur forestier durable : 1 200 000 R\$ ;
3. Programme d'appui à l'adoption de bonnes pratiques d'élevage : 1 200 000 R\$.

On retient ainsi un coût total de mise en œuvre de 3 400 000 R\$, sachant que ce coût total devrait faire l'objet d'une évaluation plus approfondie afin

de déterminer si l'échelle des actions en cours est suffisante, compte tenu des objectifs du programme en termes quantitatifs (surfaces à passer sous aménagement et sous pratiques BPA).

### Coûts de transaction

On entend par coûts de transaction les coûts qui seraient supportés par les promoteurs du programme, les autorités publiques et leurs partenaires investisseurs, afin d'établir les conditions nécessaires à l'enregistrement du programme auprès d'un standard reconnu (futur mécanisme REDD+ de l'ONU, standard VCS ou programme national/étatique de réduction d'émissions), et la vente de réductions d'émissions certifiées par ce standard.

Ces coûts incluent :

- Les coûts de développement du programme : étude de faisabilité, élaboration du document de programme (équivalent d'un PDD pour un projet), validation et enregistrement ;
- Les coûts de suivi, rapportage, vérification et émissions des réductions d'émissions ;
- Les coûts juridiques relatifs à la démonstration des droits sur les réductions d'émissions et l'établissement des contrats entre les parties prenantes et avec les acheteurs et investisseurs.

On se base sur des coûts expérimentés par des initiatives similaires, tels que des projets certifiés VCS, ainsi que des données issues de la littérature.

## 5.2 Présentation des résultats en matière de réductions d'émissions de carbone

Le scénario REDD permet de réduire les émissions de 7 532 060 tCO<sub>2</sub>e, l'équivalent de 31% des émissions du scénario de référence. Les émissions dues à la déforestation baissent drastiquement, de 18,7 à 3,7 millions de tCO<sub>2</sub>e, mais cette baisse est en partie annulée par l'augmentation des émissions dues à la dégradation, de 5,3 à 13,4 millions de tCO<sub>2</sub>e. A noter que l'adoption des bonnes pratiques d'élevage induit une séquestration de 0,667 millions de tCO<sub>2</sub>e.

Plusieurs options sont possibles pour améliorer le scénario REDD :

- Augmenter le % de réduction de la déforestation ;
- Limiter la surface exploitée sous aménagement ;
- Augmenter la proportion de pâturages convertis aux BPA ;

- Introduire une activité de reboisement : (i) restauration des APP mais se pose le problème de l'additionnalité, cette restauration étant une obligation légale des propriétaires, et (ii) mise en place de systèmes sylvo-pastoraux sur les pâturages dégradés.

Rappelons que l'estimation des émissions de référence de l'exploitation forestière conventionnelle est très conservatrice puisqu'elle est calculée avec le même facteur d'émission que pour l'exploitation sous aménagement.

Notons que la totalité des réductions d'émissions obtenues ne pourrait être commercialisée en tant que crédits carbone sur le marché volontaire. En effet, une partie devrait être mise de côté de façon à couvrir les risques de non permanence des réductions d'émissions selon les règles définies par le VCS pour les programmes juridictionnels. Nous avons estimé que seulement 60% des réductions d'émissions pourraient être commercialisées. Le prix retenu est de 5,9 US\$/VCU (13,5 R\$), prix moyen observé sur le marché volontaire en 2012 (cf. State of the voluntary carbon markets 2012, Forest Trends).

### 5.3 Présentation des résultats en matière de viabilité financière

L'ensemble de ces données et hypothèses va nous permettre d'évaluer la rentabilité de chacun des scénarios. La comparaison entre les deux scénarios offre une première estimation des coûts d'opportunité

du programme REDD+, des émissions évitées et des revenus du carbone associés.

L'analyse des coûts d'opportunité n'est dans un premier temps pas différenciée et porte sur l'ensemble des activités prévues dans les deux scénarios. Dans un second temps, on fait une analyse plus fine des coûts d'opportunité par type de transition afin de proposer d'éventuelles orientations pour la mise en œuvre du projet REDD+.

#### 5.3.1 Coût d'opportunité net total

Le coût d'opportunité net total apparaît négatif, à - 6 261 582 R\$, c'est-à-dire que le programme génère un profit actualisé de 6 261 582 R\$, correspondant à un taux de rentabilité interne de 7,05%.

Les coûts totaux du programme sont estimés à 18 753 715 R\$, soit 10,12 R\$/tCO<sub>2</sub>e, dont la majorité (57%) provient des coûts de transaction (5,81 R\$/tCO<sub>2</sub>e), devant les coûts de mise en œuvre (32%, 3,23 R\$/tCO<sub>2</sub>e). Les coûts d'opportunité des propriétaires fonciers, c'est-à-dire la perte de bénéfices qu'ils encourent du fait du programme ne s'élèvent qu'à 11% des coûts totaux, soit 1,09 R\$/tCO<sub>2</sub>e. Les revenus carbone s'élevant à 25 015 297 R\$, le programme génère un bénéfice.

Notons que les propriétaires fonciers subissent une baisse de 3% des profits actualisés dans le scénario REDD par rapport au scénario de projet, soit une perte de l'ordre de 2 014 364 R\$. Environ 10% des revenus carbone du programme devraient donc être affectés à la compensation des pertes des propriétaires

Tableau 36 : émissions de CO<sub>2</sub> du scénario de référence.

Scénario de référence	2012 - 2037	
	Surface (ha)	Emissions (tCO <sub>2</sub> e)
Changements d'usage du sol		
Forêt non exploitée => élevage conventionnel	29 688	18 723 232
Forêt non exploitée => Forêt exploitée – exploitation conventionnelle	136 627	5 325 265
<b>Total</b>		<b>24 048 497</b>

Tableau 37 : émissions de CO<sub>2</sub> du scénario de projet.

Scénario REDD	2012 - 2037	
	Surface (ha)	Emissions (tCO <sub>2</sub> e)
Changements d'usage du sol		
Forêt non exploitée => élevage conventionnel	5 938	3 744 646
Forêt non exploitée => Forêt exploitée – aménagement durable	344 798	13 439 077
Élevage conventionnel => élevage selon bonnes pratiques	27 998	-667 286
<b>Total</b>		<b>16 516 437</b>

fonciers pour que le programme soit neutre à leur égard. Cependant, le programme devrait leur procurer un bénéfice pour entraîner leur adhésion. Si l'on prend pour objectif une augmentation de 10% des profits des propriétaires fonciers, c'est 35% des revenus carbone qui devraient leur revenir. Dans ce cas, les porteurs du projet ne peuvent que couvrir leurs coûts de mise en œuvre et de transaction avec la part des revenus carbone restant. Autrement dit, l'ensemble du bénéfice généré par le programme revient aux propriétaires fonciers.

Les coûts d'opportunités sont donc un élément important de la viabilité financière du scénario REDD+ et une première mesure de l'acceptabilité de tels changements par les utilisateurs des terres. Il convient néanmoins d'analyser plus précisément la formation de ces coûts d'opportunité et ainsi identifier les postes responsables de leur augmentation ou diminution. Pour cela, nous proposons de comparer les charges des exploitants et les revenus générés dans les deux scénarios.

### Charges d'investissements et d'opération

En observant les taux de variation des coûts et investissements entre le scénario de référence et le scénario REDD+, il apparaît que les coûts totaux de production augmentent de 30%. Deux types de coûts expliquent majoritairement cet écart entre le scénario BAU et REDD+ : les coûts de fonctionnement qui augmentent de 3% et les investissements initiaux qu'a nécessité la mise en œuvre de certaines activités (pâturages améliorés et forêts aménagées) qui augmentent de 54%.

En effet, la mise en œuvre du projet REDD+ nécessite des efforts financiers initiaux importants dès la première année pour changer les trajectoires d'utilisation des terres (Figure 18 ci-dessous).

L'investissement initial (Figure 19 ci-dessous) supporté par le scénario REDD+ est lié majoritairement à l'importante surface mise sous aménagement forestier durable, qui nécessite entre autres l'achat foncier de l'ensemble de ces terres dès la première année. Dans une moindre mesure, cet investissement initial est lié aux coûts d'amélioration du pâturage et d'achat du bétail amélioré pour l'activité d'élevage.

### Revenus

Les revenus des activités sont plus importants dans le scénario REDD+ que dans le scénario BAU ; ils enregistrent un accroissement de 46%. Toutefois,

**Tableau 38 : coût d'opportunité net total du programme**

Bénéfices des usages du sol	VAN du scénario de référence	65 869 667
	Van du scénario REDD++	63 855 302
	Variation	-3%
	Coût d'opportunité des propriétaires fonciers/tCO <sub>2</sub> e	1,09
Coûts de mise en œuvre		5 981 050
Coûts de mise en œuvre/tCO <sub>2</sub> e		3,23
Coûts de transaction		10 758 301
Coûts de transaction/tCO <sub>2</sub> e		5,81
Coûts de totaux		18 753 715
Coûts de totaux/tCO <sub>2</sub> e		10,12
Revenus carbone		25 015 297
% des revenus carbone/bénéfice total		28%
Coût d'opportunité net		-6 261 582
TRI		7,05%

la mise en place d'activités plus durables et plus rentables dans le scénario REDD+ ne suffit pourtant pas à réaliser des recettes permettant de compenser la hausse des investissements nécessaires à la mise en place de ces activités. Ainsi la VAN du scénario REDD+ est inférieure à la VAN du scénario de référence pour les propriétaires fonciers. Notons cependant que les revenus augmentent légèrement plus vite dans le scénario REDD+ que dans le scénario BAU. Ainsi les revenus générés dans le scénario REDD+ sont en constance croissance par rapport aux revenus générés dans le scénario de référence, ce qui laisse à penser que le scénario REDD+ devrait à long terme être plus viable que le scénario de référence.

Plus particulièrement, la hausse des revenus est liée à deux phénomènes bien distincts :

- l'augmentation des surfaces sous exploitation forestière : le scénario REDD+ offre donc mécaniquement pour un même rendement à l'hectare une production liée à l'exploitation forestière plus importante. Cependant, ceci n'explique pas l'écart de production grandissant tout au long du projet ;
- le gain de productivité permis par les élevages améliorés dans le scénario REDD+ : le niveau de production des pâturages est donc plus élevé dans le scénario REDD+ et ceci même si la surface dédiée aux pâturages est inférieure. À noter que c'est donc l'amélioration de la productivité à

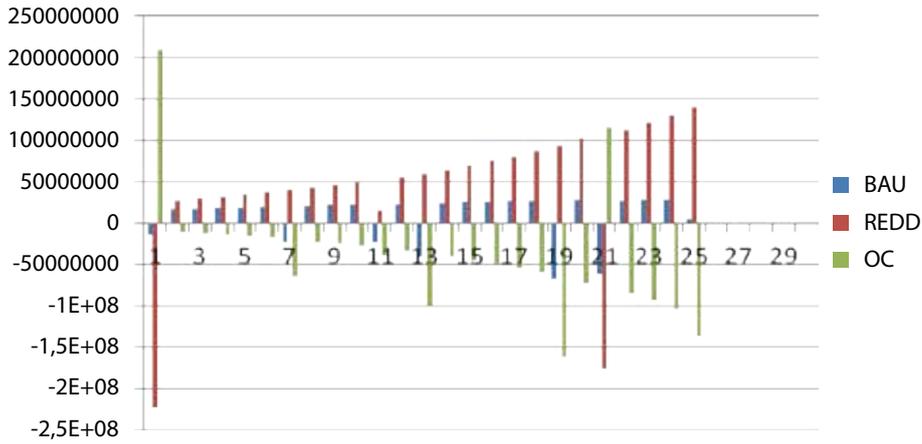


Figure 18 : évolution des bénéfices financiers dans le temps pour le scénario de référence (BAU), le scénario (REDD) et le différentiel entre les deux scénarii (OC).

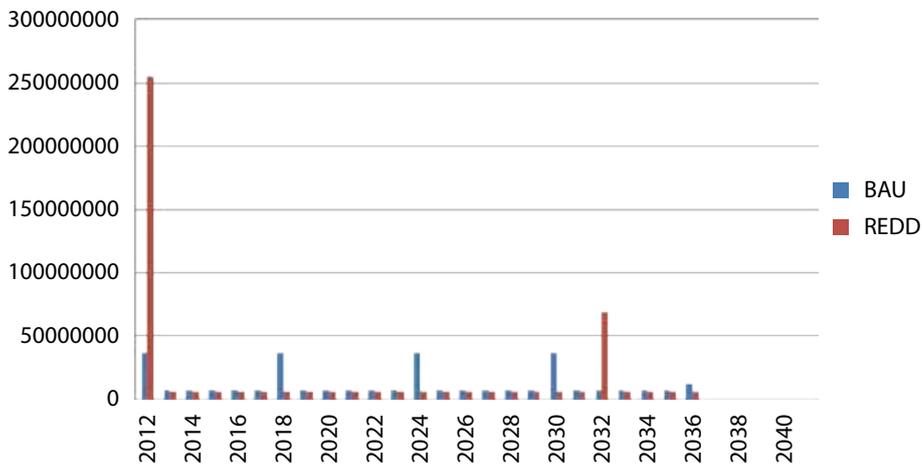


Figure 19 : charges d'investissement initiales du scénario de référence et du scénario REDD

l'hectare dans le secteur de l'élevage qui permet au scénario REDD+ de creuser chaque année un peu plus l'écart de production avec le scénario de référence.

Par ailleurs, la mise en perspective du niveau de production et des émissions laisse apparaître des rapports d'efficacité radicalement différents entre les deux scénarios. En effet, schématiquement, alors qu'une tonne de CO<sub>2</sub> émise permettrait de générer une valeur productive de 54 R\$ dans le scénario de référence, cette même tonne de CO<sub>2</sub> permettrait d'obtenir une valeur productive plus de 2 fois supérieure (116 R\$) dans le scénario REDD+. En d'autres termes, l'efficacité productive de la ressource naturelle est nettement améliorée dans le scénario REDD+.

### 5.3.2 Coûts d'opportunité sectoriels

L'analyse globale menée jusqu'ici permet d'évaluer la viabilité du scénario REDD+ dans son ensemble, mais ne spécifie pas les activités les plus efficaces. Pour cela nous proposons dans cette partie une analyse des coûts d'opportunité par type activité (i.e. par type de changement d'usage du sol).

Les profits du secteur forestier baissent de 15% dans le scénario REDD+ par rapport au scénario de référence, et ce malgré la forte augmentation de la surface exploitée et des revenus du secteur. En effet, l'adoption de l'aménagement implique de répartir des revenus qui auraient pu être obtenus en 6 ans sur une période de 25 ans, ce qui dégrade fortement la rentabilité financière. Au total, le secteur

forestier présente donc un coût d'opportunité de 11 152 107 R\$.

Au contraire les profits du secteur de l'élevage passent d'un total négatif, - 8 562 317 R\$ à un total légèrement positif. Le secteur présente ainsi un coût d'opportunité négatif de - 9 137 743 R\$. Ceci est dû principalement à la forte réduction des conversions de forêts en pâturages pour l'élevage conventionnel, activité fortement déficitaire.

## 5.4 Valeur économique des coûts d'opportunité

Jusqu'ici, les coûts d'opportunités ont été estimés à partir des profits privés (des utilisateurs de terres). Dans une approche plus globale, il peut être intéressant d'étudier les coûts d'opportunité pour la collectivité dans son ensemble (i.e. la valeur économique des coûts d'opportunité).

Malheureusement, l'absence de données sur certaines variables (taxes, exportations, importations) limite ici l'analyse économique à la valeur productive et aux emplois créés.

Le projet REDD+ permettrait d'augmenter le niveau de production de la région (cf. ci-dessus), ce qui permettrait aussi d'augmenter le niveau d'emplois de 5% par rapport au scénario de référence. Plus particulièrement, l'accroissement de l'emploi dans le scénario REDD+ par rapport au scénario de référence est lié à l'augmentation de l'activité productive de l'exploitation forestière. L'augmentation des niveaux de production est quant à elle liée, d'une part à l'augmentation de l'activité d'exploitation forestière et d'autre part à l'accroissement de la productivité de l'élevage grâce à l'amélioration des pâturages. Ce raisonnement atténue donc les conclusions que l'on a pu avoir dans le cadre de l'analyse purement financière, dans la mesure où la transition d'un pâturage conventionnel à un pâturage amélioré

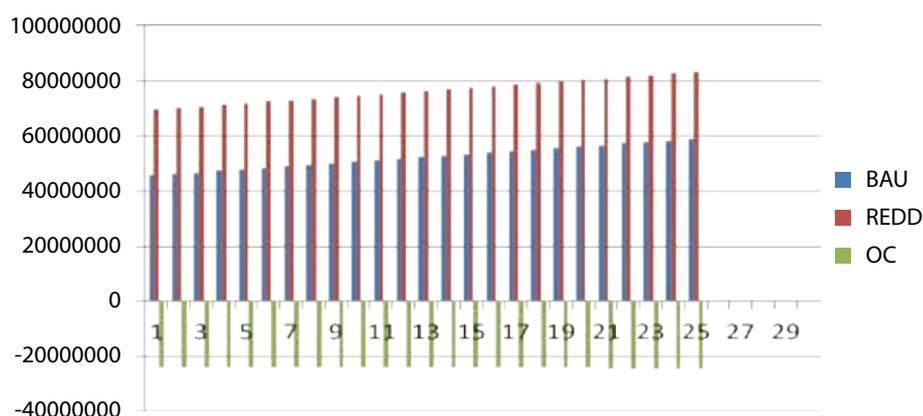


Figure 20 : valeur des productions du scénario de référence (BAU) et du scénario REDD (REDD) et déficit du scénario de référence par rapport au scénario REDD (GAP).

Tableau 39 : profits actualisés et coûts d'opportunité par activité

Activités	Profit scénario de référence	Profit scénario REDD+	Coûts d'opportunité
Pâturages conventionnels (créés)	-51 062 978	-10 212 596	-40 850 382
Forêt conventionnelle	74 431 983	-	74 431 983
Forêt aménagée	-	63 279 876	-63 279 876
Pâturages conventionnels	42 500 661	21 250 331	21 250 331
Pâturages améliorés	-	-25 086 431	25 086 431
Pâturages conventionnels en attente de conversion	-	14 624 122	-14 624 122
<b>Total</b>	<b>869 667</b>	<b>63 855 302</b>	<b>-2 014 364</b>

devient clairement profitable dans une optique économique et réduit considérablement les coûts d'opportunités économiques globaux.

## 5.5 Analyse de sensibilité

Nous envisageons ici l'impact de la variation de certains des paramètres de base du modèle :

- Le taux d'actualisation
- La spéculation foncière
- La stratégie du programme REDD+
- Le prix des crédits carbone
- L'inflation

### 5.5.1 Le taux d'actualisation

Nous avons vu que le programme REDD+ est financièrement viable pour un taux d'actualisation de 6,75%. Cependant, il est probable que les agents économiques concernés intègrent un taux d'actualisation plus élevé dans l'estimation de la viabilité financière de leurs activités. Ceci aurait un impact important sur les coûts d'opportunité des propriétaires fonciers et la compensation qu'ils attendraient du programme. Ainsi, le passage à un taux d'actualisation de 9% augmente le coût d'opportunité des propriétaires fonciers à 26,28 R\$/tCO<sub>2</sub>e, ce qui rend le programme non viable étant donné le prix actuel moyen de la tCO<sub>2</sub> observée sur les marchés volontaires (13,5 tCO<sub>2</sub>).

### 5.5.2 La spéculation foncière

La vente d'une propriété foncière, étant donné sa valeur, peut assurer au propriétaire un revenu important. Il est donc probable que certains terrains puissent être vendus à la fin des projets de pâturage et de foresterie, une fois que l'on a une utilisation optimale de la terre. De plus, beaucoup d'éleveurs se lancent dans la création de pâturages, activité peu lucrative, par simple spéculation foncière. Il est donc important de prendre en compte la revente du foncier dans l'analyse financière en tant que scénario alternatif.

Afin de réaliser ce scénario, les données du tableau ci-dessous ont été utilisées.

La revente des pâturages s'effectue à la fin du programme dans le scénario de référence comme dans le scénario REDD+, tandis que la revente des surfaces dédiées à l'exploitation forestière s'effectue tous les six ans dans le scénario de référence et tous les 25 ans dans le scénario REDD+. La prise en compte de la revente du foncier permet ainsi de souligner

l'effort consenti par les propriétaires mettant en place un aménagement durable de leurs exploitations et renonçant alors à un revenu régulier.

La revente du foncier permet de générer des revenus supplémentaires conséquents qui augmentent fortement la rentabilité financière des activités.

La revente du foncier permet de rentabiliser les activités qui ne l'étaient pas auparavant, à savoir la mise en place de pâturages après déforestation et l'amélioration des pâturages existants. Le programme REDD+, avec prise en compte de la revente du foncier dans l'analyse, devient légèrement plus avantageux dans la mesure où le coût d'opportunité du projet baisse (de 10,12 à 8,92 R\$/tCO<sub>2</sub>), le taux de rentabilité interne passe de 7,05 à 7,07% et la valeur actualisée nette du scénario REDD+ passe, quant à elle, de 6 261 582 à 8 493 571 R\$.

Cependant, les taux d'inflation de 24% du prix de revente des pâturages et de 16% du prix de revente des exploitations forestières ont été observés sur une période de 8 ans (de 2002 à 2009). Leur extrapolation sur toute la durée du programme (25 ans) est donc probablement incorrecte.

### 5.5.3 La stratégie du programme REDD+

Il est possible de modifier les objectifs du scénario REDD+, en terme de surfaces de changement d'usages du sol et de réductions d'émissions, et d'en estimer l'impact sur la viabilité financière du programme.

Nous avons testé plusieurs scénarii alternatifs classés selon le degré d'ambition en termes de réduction d'émissions de carbone :

- Scénario 0 : c'est le scénario présenté ci-dessus. La déforestation est réduite de 80%, l'ensemble de la surface forestière est exploité sous plan d'aménagement, 50% des pâturages sont convertis en pâturages gérés selon les BPA. Ce scénario permet une réduction de 7,5 MtCO<sub>2</sub>e, soit 31% des émissions de référence ;
- Scénario 1 : la déforestation est réduite de 100%, l'ensemble de la surface forestière est exploité sous plan d'aménagement, 100% des pâturages sont convertis en pâturages gérés selon les BPA. Ce scénario permet une réduction de 11,7 MtCO<sub>2</sub>e, soit 49% des émissions de référence ;
- Scénario 2 : la déforestation est réduite de 80%, la surface forestière exploitée reste identique (mais sous plan d'aménagement), 50% des

Tableau 40 : paramètres utilisés pour prendre en compte la spéculation foncière

Type d'usage des terres	Prix de revente/ha	Taux inflation	Source des données
Pâturages	1800	24%	Enquêtes de terrain / taux d'inflation sur Aripuaña entre 2002 et 2009 - Instituto FNP
Forêts	900	16%	Enquêtes de terrain / taux d'inflation sur Aripuaña entre 2002 et 2009 - Instituto FNP

Tableau 41 : profits actualisés et coûts d'opportunité par activité en prenant en compte la spéculation foncière

Activités	Profit scénario de référence	Profit scénario REDD+	Coûts d'opportunité
Pâturages conventionnels (créés)	638 537 855	127 707 571	510 830 284
Forêt conventionnelle	485 759 159	-	485 759 159
Forêt aménagée	-	1 191 103 938	1 191 103 938
Pâturages conventionnels	1 668 363 310	834 181 655	834 181 655
Pâturages améliorés	-	625 258 628	625 258 628
Pâturages conventionnels en attente de conversion	-	14 624 122	-14 624 122
<b>Total</b>	<b>2 792 660 324</b>	<b>2 792 875 915</b>	<b>-215 590</b>

pâturages sont convertis en pâturages gérés selon les BPA. Ce scénario permet une réduction de 15,6 MtCO<sub>2</sub>e, soit 65% des émissions de référence ;

- Scénario 3 : la déforestation est réduite de 100%, il n'y a plus d'exploitation forestière et 100% des pâturages sont convertis en pâturages gérés selon les BPA. Ce scénario permet d'éviter 100% des émissions de référence et de séquestrer 1,3 MtCO<sub>2</sub>e.

Ces scénarii ont été testés pour un taux d'actualisation de 6,75%, un prix du crédit carbone de 13,5 R\$, sans et avec prise en compte de la spéculation foncière. Les résultats sont présentés dans le Tableau 42 ci-dessous.

Seuls le scénario 0 et le scénario 1 sans spéculation foncière présentent un profit actualisé positif ou proche de 0.

La prise en compte de la spéculation foncière dégrade fortement les résultats de tous les scénarii à l'exception du scénario 0, dont les résultats sont au contraire légèrement améliorés. Ceci s'explique par le fait que la prise en compte de la spéculation foncière rend toutes les activités d'usage du sol profitables. Les scénarii 1, 2 et 3 impliquant des contraintes supplémentaires de développement de ces activités,

l'impact de la prise en compte de la spéculation foncière est alors plus important.

La comparaison deux à deux des scénarii 0 et 2, et des scénarii 1 et 3, montre l'impact fortement négatif de la restriction de l'exploitation forestière sur les résultats financiers. Au contraire, la comparaison des scénarii 1 et 2 montre qu'on peut augmenter l'effort de réduction des conversions en pâturages sans dégrader fortement les résultats financiers, tout du moins si l'on ne prend pas en compte la spéculation foncière.

#### 5.5.4 Le prix des crédits carbone

Les estimations précédentes ont été réalisées pour un prix moyen du crédit carbone de 5,9 US\$ (13,5 R\$), prix moyen du marché volontaire en 2012. Cependant, ce prix moyen cache une forte dispersion des prix des transactions sur le marché, qui vont de 1 à 100 US\$/tonne. De plus, des volumes significatifs ont été vendus à un prix allant jusqu'à 10 US\$/tonne, soit plus de 20 R\$/tonne. Un tel niveau de prix rendrait profitable tous les scénarii décrits ci-dessus dans les cas où on ne prend pas en compte la spéculation foncière. A l'inverse, une baisse du prix du crédit au dessous de 3,9 US\$/tonne (8,9 R\$) rend tout scénario non rentable.

Tableau 42 : réductions d'émissions, profits actualisés, TRI et coûts d'opportunité des différents scénarii REDD+

Scénarii	Réduction d'émissions		Sans spéculation foncière			Avec spéculation foncière		
	tCO <sub>2</sub> e	% des émissions du scénario de référence	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/tCO <sub>2</sub> e	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/tCO <sub>2</sub> e
Scénario 0 : -80% déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 50% surface de pâturages en BPA	7 532 060	31%	6,3	7,0	10,1	8,49	7,1	8,9
Scénario 1 : Zéro déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 100% surface de pâturages en BPA	11 712 557	49%	-0,3	6,7	13,6	-279	-	110,4
Scénario 2 : -80% déforestation, exploitation forestière sur la même surface, 50% surface de pâturages en BPA	15 645 871	65%	-5,1	6,3	14,8	-683,8	-	191,1
Scénario 3 : Zéro déforestation, zéro exploitation forestière, 100% surface de pâturages en BPA	-1 334 565	106%	-19,4	3,5	16,6	-1445,5	-	245

### 5.5.5 L'inflation

Les taux d'inflation étant importants dans les pays émergents, il est nécessaire de prendre en compte cette donnée. Sachant qu'à l'heure actuelle, le taux d'inflation est d'environ 6%<sup>1</sup>, on prendra comme hypothèse la poursuite de la tendance afin de tester la sensibilité des résultats de l'analyse coûts-bénéfices pour les 4 scénarii présentés ci-dessus.

La prise en compte de l'inflation améliore sensiblement les résultats financiers du programme dans tous les scénarii, à l'exception des scénarii 1, 2 et 3 avec prise en compte de la spéculation foncière, seuls scénarii non rentables.

1 Global rates, *Inflation Brésil*, [consulté le 08/07/13]  
<http://fr.global-rates.com/statistiques-economiques/inflation/indice-des-prix-a-la-consommation/ipc/bresil.aspx>

**Tableau 43 : réductions d'émissions, profits actualisés, TRI et coûts d'opportunité des différents scénarii REDD+ pour une inflation de 6%**

Scénarii	Sans spéculation foncière			Avec spéculation foncière		
	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/ tCO <sub>2</sub> e	VAN (M R\$)	TRI	Coûts d'opportunité/ tCO <sub>2</sub> e
Scénario 0 : -80% déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 50% surface de pâturages en BPA	216	13,5	-42,8	260,5	13,5	-54,42
Scénario 1 : Zéro déforestation, 100% surface forêt en exploitation forestière sous aménagement, 100% surface de pâturages en BPA	222,4	13,1	-23,8	-583,5	-	111,4
Scénario 2 : -80% déforestation, exploitation forestière sur la même surface, 50% surface de pâturages en BPA	102,8	12,6	0,6	-1912,9	-	253,6
Scénario 3 : Zéro déforestation, zéro exploitation forestière, 100% surface de pâturages en BPA	31,8	9,7	11,0	-4245,3	-	342

## 6. Bibliographie

- Agrosuisse. Diagnostico da pecuária na  
Municipalidade de Cotriguaçu. Relatório  
Final (2010)
- Angelsen, A. & Meridian Institute, 2009. Reducing  
emissions from deforestation and forest  
degradation (REDD) : an options assessment  
report, Washington, D.C.: Meridian Institute.
- Arruda, C., 2012. Relatório Anual do Programa de  
Desenvolvimento do Bom Manejo Florestal no  
Estado de Mato Grosso (PRODEMFLOR).
- Aussenac, R., 2012. Dynamique de la biomasse  
post-exploitation à faible impact et variabilité des  
réponses spécifiques, Brésil: Embrapa.
- Baker, T.R., Honorio Coronado, E.N., Phillips, O.L.,  
Martin, J., van der Heijden, G.M.F., Garcia, M.  
& Silva Espejo, J., 2007. Low stocks of coarse  
woody debris in a southwest Amazonian forest.  
*Oecologia*, 152(3), p.495-504.
- Baraloto, Christopher, Molto, Q., Rabaud, S.,  
Herault, B., Blanc, L., Fine, P. & Thompson,  
J., 2012. Rapid Simultaneous Estimation of  
Aboveground Biomass and Tree Diversity Across  
Neotropical Forests: A Comparison Of Field  
Inventory Methods.
- Barreto, G., Fradique, A. & Raiol, L., 2008.  
Relatório de Atividades 2007, Brésil: IMAZON.
- Bellasen, V., 2010. Gestion forestière et cycle du  
carbone : apports de la modélisation à large  
échelle et de la télédétection. THESE DE  
DOCTORAT. Paris: UNIVERSITE PIERRE  
ET MARIE CURIE.
- Bernard, C., belma, K. & Lemenager, T., 2012. La  
préparation du mécanisme REDD+ au Mexique  
Quelles perspectives environnementales pour les  
forêts tropicales ? AFD, (13), p.166.
- Bernoux, M., Arrouays, D., Baraloto, C, Alencastro  
Graça, P., Volkoff, B. & Trichet, J., 1998.  
Estimation des stocks de carbone des sols du  
Rondônia (Amazonie brésilienne). *Étude et  
Gestion des Sols*, 5(1), p.13.
- Billand, A., Gourlet-Fleury, S. & Sarrail, J.-M., 2008.  
Dégradation forestière et exploitation forestière  
en Afrique centrale :Eléments de «l'équation  
carbone»& Perspectives de recherche Alain.??
- Blanc, L., 2012. Lutte contre la déforestation et  
aménagement forestier durable dans l'Etat du  
Mato Grosso – Municipalité de Cotriguaçu.  
Mission d'appui, Cirad.
- Bonfante, T., 2012. Cikel Brazilian Amazon REDD  
APD Project– Avoiding planned deforestation in  
Brazil, Brazil: Rain Forest Alliance.
- Bourbier, L., 2011. Evaluation de la dégradation  
forestière par la télédétection dans le Bassin de  
Congo, Congo: Université de montpellier.
- Brady, M. & Wasseige, C., 2010. Monitoring Forest  
Carbon Stocks and Fluxes in the Congo Basin,  
Brazaville: COMIFAC.
- Broekhoff, D., Garcia, K., Nickerson, J. & Raven,  
H., 2010. Forest Project Protocol Version 3.2.
- Brown, S., 2006. GOF-C-GOLD Symposium  
Monitoring Tropical Deforestation for  
Compensated Reductions. Role of Earth  
Observation for Biomass Assessment.
- Brown, S., Pearson, T., Moore, N., Parveen, A.,  
Ambagis, stephen & Shoch, david, 2005. Impact  
of selective logging on the carbon stocks of  
tropical forests: Republic of Congo as a case  
study. Deliverable 6: Logging impacts on carbon  
stocks, Winrock International.
- Brown, S.L., Casarim, F, Grimland, S. & Pearson,  
T., 2011. Carbon Impacts from Selective  
Logging of Forests in Berau District, East  
Kalimantan, Indonésie, Winrock International.
- Brown, S.L., Pearson, T.R.H. & Birdsey, R.A., 2007.  
Measurement Guidelines for the Sequestration  
of Forest Carbon United States Department of  
Agriculture., NEWTOWN SQUARE: United  
States Department of Agriculture.
- Calmel, M., Martinet, A., Grondard, N., Dufour, T.,  
Rageade, M. & Ferté-Devin, A., 2010. REDD+  
à l'échelle projet. Guide d'évaluation et de  
développement ONF International., Paris.
- Carbon Planet Limited, Approved Methodology  
VM0011. Methodology for Improved Forest  
management-Logged to protected Forest:  
Calculating GHG Benefits from Preventing  
Planned Degradation.
- Chamber, J.Q., Dos Santos, J., Ribeiro, R.J. &  
Higuchi, N., 2001. Tree damage, allometric  
realtionships, and above-ground net primary  
production in central Amazon forest. *Forest  
Ecology and Management*, 152, p.73-84.
- Chamber, J.Q., Dos Santos, J., Ribeiro, R.J. &  
Higuchi, N., 2001. Tree damage, allometric  
realtionships, and above-ground net primary

- production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 152, p.73-84.
- Chambers, J., Higuchi, N., Schimel, J., Ferreira, L. & Melack, J., 2000. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon.
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Laos, S. & Perez, R., 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B*, (359), p.p 409.
- Chenost, C., Gardette, Y.-M., Demenois, J., Grondard, N., Perrier, M. & Wemaëre, M., Les marchés du carbone forestier Bringing forest carbon projects to the market, ONFI.
- CKVB FlorestalLtda, 33 Asset Management & TerraCarbon LLC, 2012. Non-Permanence Risk report For the Cikel Brazilian Amazon REDD APD Project, Brésil: Cikel.
- Climate Focus, Siberstrum, Winrock International & Terra Carbon, 2011. Approved VCS Methodology VM0007 Version 1.1, 7. REDD Methodology Framework (REDD-MF) Sectoral scope 14.
- Collomb, J.-G. & Global Forest Watch (Organization), 2000. A first look at logging in Gabon : a Global Forest Watch report, Washington, DC: World Resources Institute.
- Cortez, R. & Stephen, P., 2009. Cours d'introduction sur le dispositif de Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) Manuel de référence des participants.
- Dalberto Tânia Maria. Mensuração nos custos da pecuária de corte: um estudo de caso. Mémoire de fin d'études. (2009).
- Delaney, M., Brown, S., Lugo, A., Torres-Lezema, A. & Bello Quintero, N., 1998. The quantity and turnover of Dead Wood in Permanent Forest Plots in six Life Zones of Venezuela. *Biotropica*, 30(1), p.11.
- Dubreuil, V., Arvor, D., Laques, A.-E., Gurgel, H. & Nédélec, V., 2008. Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites : l'exemple du Mato Grosso. *L'Espace géographique*, Tome 37(37), p.57-74.
- Dufour, T., Multi-Species Reforestation in Mato Grosso, Brazil. VCS Small Scale ARR Project Document. PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM (CDM-SSC-AR-PDD) - Version 02.
- Dufour, T. & Demenois, J., Multi-Species Reforestation in Mato Grosso, Brazil, VCS Small Scale ARR Monitoring Plan.
- Durrieu de Madron, Giraud & Bauwens, 2011. Briefing Note n°4 Impact des modes d'exploitation forestière sur les stocks de carbone en Afrique Centrale; Etat de l'art.
- Durrieu de Madron, L. & Bauwens, S., 2009. Experiences on avoided degradation in Africa : Technical challenges in monitoring of carbon impacts of logging and the estimation of potential impact of SFM and RIL practices - state of the art of current research results and future axes of research needed.
- Durrieu de Madron, L., Forni, E. & Mekok, M., 1998. Les techniques d'exploitation à faible impact en forêt dense humide camerounaise. Série FORAFRI, document 17.
- Dykstra, D.P., Center for International Forestry Research & United Nations Environment Programme, 1997. Promotion de l'aménagement forestier dans la zone de forêt tropicale humide d'Afrique occidentale et centrale anglophone : rapport final d'un projet de recherche entrepris en collaboration par le Programme des Nations Unis pour l'environnement et le Centre de recherche forestière internationale, Jakarta, Indonésie :Centre de recherche forestière internationale.
- Eaton, J.M., 2001. Woody Debris and the Carbon Budget of Secondary Forests in the Southern Yucatán Peninsular Region.
- Ecosystem services, Winrock International & The Nature Conservancy, 2011. Approved VCS Module VMD0015 Version 2.0, 23 November 2011 REDD Methodological Module: Methods for monitoring of greenhouse gas emissions and removals (M-MON) Sectoral Scope 14.
- FAO, 2010. Évaluation des ressources forestières mondiales 2010 : rapport principal, Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- FAO, 2009. Suivi et évaluation des ressources forestières nationales - Manuel pour le relevé intégré de données sur le terrain. Version 2.3. Document de travail du Programme d'appui au suivi et à l'évaluation des ressources forestières nationales SERFN 37/F, Rome: FAO.
- Finger, F.A., 2005. Diagnóstico do setor florestal no município de Cotriguaçu, Mato Grosso: Perspectivas e desafios na percepção dos dirigentes das empresas florestais. Brésil: Universidade Federal de Viçosa.
- FRM, 2010. Estimation des stocks de carbone à l'échelle d'une concession forestière. Exemple des concessions forestières de Bétouet Missa -Congo.

- Gerwing, J., 2002. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, (157), p.131-141.
- Gineste, M., Martels, S., Henry, M., Adu-Bredu, S. & Saint-Andre, L., 2010. Estimating the impact of selective logging on aboveground carbon stocks in Boi Tano Forest Reserve.
- Goetz, S.J., Baccini, A., Laporte, N.T., Johns, T., Walker, W., Kellndorfer, J., Houghton, R.A. & Sun, M., 2009. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. *Carbon Balance and Management*, 4(1), p.2.
- Gond, V. & Guitet, S., 2009. Élaboration d'un diagnostic post-exploitation par télédétection spatiale pour la gestion des forêts de Guyane. *Bois et forêts des tropiques*, (299).
- Gond, V. & Guitet, S., 2009. Élaboration d'un diagnostic post-exploitation par télédétection spatiale pour la gestion des forêts de Guyane. *Bois et forêts des tropiques*, (299).
- Governador do estado do DE MATO GROSSO, 2009. Regulamenta a Lei Complementar nº 233, de 21 de dezembro de 2005 no que diz respeito aos procedimentos de elaboração, análise e acompanhamento dos Planos de Manejo Florestal Sustentável no Estado de Mato Grosso.,
- GreenCollar Pty Ltd, 2011. Approved VCS Methodology VM0010. Sectoral Scope 14. Methodology for Improved Forest Management: Conversion of logged to Protected Forest.
- Guéneau, S., 2009. Loi forestière brésilienne : un pas vers la durabilité ? *Iddri*, (9), p.3.
- Guitet, S., Pithon, S., Brunaux, O., Jubelin, G. & Gond, V., 2012. Impacts of logging on the canopy and the consequences for Forest Management in French Guiana. *Elsevier*, p.28.
- Guy, L., 2011. Inventaire des stocks de carbone des écosystèmes terrestres dans le cadre du projet REDD+ Huila, Colombie.
- Harris, N., Pearson, T., Petrova, S., Grimland, S. & Brown, S., USAID Forest Carbon Calculator: Data and Equations for the Forest Management Tool, Winrock International under USAID Cooperative Agreement No. EEM-A-00-06-00024-00.
- Hérault, B., Beauchêne, J., Muller, F., Wagner, Fabien, Baraloto, Christopher, Blanc, L. & Martin, J.-M., 2010. Modeling decay rates of dead wood in a neotropical forest. *Oecologia*, 164(1), p.243-251.
- Hoover, C.M., 2008. Field measurements for forest carbon monitoring : a landscape-scale approach, [Dordrecht]: Springer.
- Houghton, R., Skole, D., Nobre, A., Hackler, J., Lawrence, K. & Chomentowski, W., 2000. Annual Fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon.
- Instituto Centro Vida (ICV). Projeto Cotriguaçu Sempre Verde. (Février 2011)
- IFT, 2010. Diagnóstico do setor florestal de cotriguaçu, estado de mato grosso, relatório final.
- IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. IGES., Japan: IGES.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor et H.L. Miller.
- IPCC, Watson, R., Noble, I., Bolin, B., Ravindranath, N., Verardo, D. & Dokken, D., Land Use, Land-Use Change and Forestry: A Special Report Cambridge University Press., Royaume Uni.
- Karsenty, A., Tulyasuwan, N., Ezzine de Blas, D. & Global Witness, 2012. Options de financement pour appuyer la mise en oeuvre de REDD+, Cirad et Commission Européenne. Disponible sur : [http://ur-bsef.cirad.fr/content/download/4123/32260/version/3/file/REDD\\_study\\_CIRAD\\_final.pdf](http://ur-bsef.cirad.fr/content/download/4123/32260/version/3/file/REDD_study_CIRAD_final.pdf).
- Kazotti, J., 2003. Dynamiques de décomposition et de minéralisation des rémanents d'eucalyptus pfl (clone 1-41) sur un sol sableux du littoral congolais, Université Marien Ngouabi.
- Keller, Asner, Silva & Palace, 2004. Sustainability of selective logging of upland forests in the Brazilian Amazon: carbon budgets and remote sensing as tools for evaluating logging effects. Pages 41–63.
- Kohlmaier, G., Kohlmaier, L., Fries, E. & Jaeschke, W., 2007. Carbon stocks and greenhouse gas balance of harvested wood products: focus on the Asia-Pacific Partnership countries vis-à-vis the European Union. *European Journal of Forest Research*, 127(2), p.133-147.
- Larcher, B., 2011. Improvements of inventory protocols in the Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu, MT, Brésil).
- MacDicken, K., 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects, Winrock International Institute.

- Magnusson, W.E., De Lima, O.P., Quintiliano Reis, F., Higuchi, N. & Ferreira Ramos, J., 1999. Logging activity and tree regeneration in an Amazonian forest. *Forest Ecology and Management*, 113, p.67-74.
- Malhi, Y., Aragão, L.E.O.C., Metcalfe, D.B., Paiva, R., Quesada, C.A., Almeida, S., Anderson, L., Brando, P., Chambers, J.Q., da Costa, A.C.L., Hutyra, L.R., Oliveira, P., Patiño, S., Pyle, E.H., Robertson, A.L. & Teixeira, L.M., 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology*, 15(5), p.1255-1274.
- Mazzei de Freitas, L., 2010. Durabilité écologique et économique de l'exploitation forestière pour la production de bois d'oeuvre et pour le stockage du carbone en Amazonie. *AgroParisTech*. Disponible sur : <http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00611175/fr/>.
- Mazzei, L., Sist, P., Ruschel, A., Putz, F.E., Marco, P., Pena, W. & Ferreira, J.E.R., 2010. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 259(3), p.367-373.
- Micol Laurent, Thuault Alice, Martinnet Anne. Note d'analyse sur les politiques et initiatives REDD en Amazonie Brésilienne. ONF International et Institut Centro Vida pour l'Agence Française de Développement. (juin 2010)
- Millennium Ecosystem Assessment – MEA, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press.
- NEA-IE/UNICAMP. Pesquisa dos Mercados de Terras de Cotriguaçu: subsídios para o cálculo de custo de oportunidade da floresta preservada, 2011.
- Nascimento Ferreira, F., 2005. Análise da sustentabilidade do manejo florestal com base na avaliação de danos causados por exploração de impacto reduzido em floresta de terra firme no município de Paragominas-PA, Brasil: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA.
- Nascimento, H. & Laurance, W., 2001. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, (168), p.311–321.
- Nepstad, D., Moutinho, P., Boyd, W., Azevedo, A., Bezerra, T., Smid, B., Stabile, Marcelo, Stickler, C., Stella, Osvaldo & Smid, B.J., 2012. Re-direcionando REDD+ Potencializando REDD+ jurisdicional como uma estratégia política e econômica para o desenvolvimento rural de baixa emissão: resultados de pesquisa e recomendações para governos.
- Nogueira, E., Fearnside, P., Nelson, B., Barbosa, R. & Keiser, E.W., 2008. Estimativas de biomassa florestal na Amazônia brasileira: Novas equações alométricas e ajustes para biomassa obtida a partir de inventários de volume de madeira, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA.
- Olander, J. & Ebeling, J., 2011. *Building Forest Carbon Projects Step-by-Step Overview and Guide Forest Trends.*, Washington DC: Forest Trends.
- ONF, 2007. Les satellites au service du forestier Guyanais pour améliorer l'organisation et le contrôle de l'exploitation forestière. *RDV Techniques*, (17), p.4.
- ONF Brasil. Plano Operacional Anual (POA). Fazenda São Nicolau. (Décembre 2011)
- ONFI, 2011a. «Le mécanisme REDD+ de l'échelle mondiale à l'échelle locale. Enjeux et conditions de mise en œuvre» Document de travail no109.
- ONFI, 2011b. Note d'Idée de Projet (NIP. Lutte contre la déforestation et aménagement forestier durable dans l'Etat du Mato Grosso – Municipalité de Cotriguaçu.
- ONFI, 2011c. Tâche 4: Proposition de programme de travail détaillé pour le projet Lutte contre la déforestation et aménagement forestier durable dans l'Etat du Mato Grosso – Municipalité de Cotriguaçu.
- ONFI – TERE – FRM, 2011. 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 - Rapport d'exécution de la tâche 1 (analyse méthodologique).
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Organisation mondiale de la santé. Guide des bonnes pratiques d'élevage visant à assurer la sécurité sanitaire des denrées d'origine animale. (2009)
- Palace, W. & Keller, M., 2007. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, (238), p.309–318.
- Parker, C., Mitchell, A., Trivedi, M. & Mardas, N., 2009. Le Petit Livre Rouge du REDD +, Global Canopy Programme.
- Pearson, T., Ambagis, Stephen, Brown, S., Slaymaker, D. & Moore, N., 2005. Application of Multispectral 3-Dimensional Aerial Digital Imagery for Estimating Carbon Stocks in a Bottomland Hardwood Forest.

- Pearson, T. & Brown, S., 2005. Exploration du potentiel de séquestration du carbone dans les forêts classées de la République de Guinée. Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses, Arlington.
- Pedroni, Lucio, 2010. Approved VCS Methodology VM0015, Version 1.0, Sectoral Scope 14, Methodology for Avoided Unplanned Deforestation.
- Penman, J., Chikyu Kankyo Senryaku Kenkyu Kikan. & Intergovernmental Panel on Climate Change. National Greenhouse Gas Inventories Programme., 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, Hayama, Kanagawa, Japon: Published by the Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. & Wagner, Fabian, 2003. Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types, Japon: Published by the Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC.
- Penman, J. & Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003. Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie, Hayama, Kanagawa: IGES.
- Picard, N., 2007. Méthode d'inventaire forestier Projet de développement rural participatif dans le moyen Atlas central (projet Khénifra),
- Picard, N. & Gourlet-Fleury, S., 2008. Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêts de production dans le bassin du Congo CIRAD.,
- Pinard, M.A & Crooper, W., 2000. Simulated Effects of Logging on Carbon storage in dipterocarp forest. *British Ecological Society*, 37(2), p.267-283.
- Pinard, M.A & Putz, F., 1996. Retaining Forest Biomass by Reducing logging Damage. *The association for tropical Biology and conservation*, 28(3), p.278-295.
- Poder Executivo, 2005. Dispõe sobre a Política Florestal do Estado de Mato Grosso e dá outras providências.,
- Poinsot, D., 2004. Statistiques pour statophobes. Disponible sur : <http://perso.univ-rennes1.fr/denis.poinsot>.
- Porfirio-da-Silva, Vanderley. O sistema silvo pastoril e seus benefícios para a sustentabilidade da pecuária. Palestra no simposio ABCZ-CNPC Pecuaría Sustentavel. (Mai 2009)
- Proforest, 2011. Interactions FLEGT-REDD+ Qu'est-ce que REDD+?
- Putz, F.E., Zuidema, P.A., Pinard, Michelle A., Boot, R.G.A., Sayer, J.A., Sheil, D., Sist, P., Elias & Vanclay, J.K., 2008. Improved Tropical Forest Management for Carbon Retention. *PLoS Biology*, 6(7), p.e166.
- Ramousse, R., Le Berre, M. & Le Guelte, L., 1996. Introduction aux statistiques.
- Ravindranath, N.H. & Ostwald, M., 2008. Carbon inventory methods handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects, Dordrecht: Springer. Disponible sur: [http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nl\\_ebk&db=nlabk&AN=255253](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nl_ebk&db=nlabk&AN=255253) [Consulté le 25 mars 2012].
- Rodrigues Ezequiel. EMBRAPA. Boas Práticas Agropecuárias Bovinas de Corte. Manual de Orientações. EMBRAPA. 2da Edição (2011)
- Rose, Simone. Reduced Impact Logging in Tropical Forests. Literature synthesis, analysis and prototype statistical framework. Forest Harvesting and Engineering working paper No. 01. FAO, Forestry Department. (2009)
- Rure, J., 2007. Etude technico-économique pour la mise en place d'une exploitation à faible impact en Guyane Française.
- Rutishauser, E., Barthélémy, D., Blanc, L. & Eric-André, N., 2011. Crown fragmentation assessment in tropical trees: Method, insights and perspectives. *Forest Ecology and Management*, 261(3), p.400-407.
- Scaranello, M., 2011. Estimativas de estoque de carbono florestal na Amazônia Meridional: reduzindo as incertezas das emissões do desmatamento e degradação, Br2Sil: Instituto Centro de Vida.
- Schuster, E., 2011. Roteiro mínimo para apresentação do Plano de Manejo Florestal Sustentavel – PMFS.
- Sist, P., Blanc, L., Mazzei, L. & Baraloto, Christopher, 2012. Current knowledge of general patterns of biomass dynamics after logging in Eastern Amazonian forests.
- Sist, P. & Ferreira, F.N., 2007. Sustainability of reduced-impact logging in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 243(2-3), p.199-209.
- Smith, J.E., Heath, L.S., Skog, K.E. & Birdsey, R.A., 2006. Methods for Calculating Forest

- Ecosystem and Harvested Carbon with Standard Estimates for Forest Types of the United States, NEWTOWN SQUARE: USDA FOREST SERVICE. Disponible sur : <http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/8192>.
- Strassburg et al. Increasing agricultural output while avoiding deforestation - A case study for Mato Grosso, Brésil.
- TEAM Network, 2010a. Vegetation monitoring Protocol Implementation manual, Tropical Ecology, Assessment and Monitoring Network, Science and Knowledge Division.
- TEAM Network, 2010b. Vegetation Protocol Implementation manual, v. 1.5 Tropical Ecology, Assessment and Monitoring Network, Science and Knowledge Division, Arlington, VA, USA: Conservation International.
- Thi Tam Vu, 2002. Caractérisation des dégâts d'exploitation de la canopée dans une forêt amazonienne de terre ferme (Brésil).
- UNFCCC, 1992. Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Disponible sur : <http://unfccc.int/resource/docs/french/conv/convfr.pdf>.
- UNFCCC, 2011. Decision 1/CP.16 The Cancun Agreements: Outcome of the Work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, Bonn.
- UNFCCC, 2007. Rapport de la treizième session de la Conférence des Parties tenue à Balidu du 3 au 15 décembre 2007. United Nations Framework Convention on Climate Change, p 62, UNFCCC. Disponible sur : <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/fr/06a01f.pdf#page=3>.
- UNFCCC/CCNUCC, 2010. A/R Methodological Tool Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities (Version 02.1.0).
- VCS, 2011. Agriculture, Forestry and Other land Use (AFOLU) Requirements, Washington DC: VCS.
- VCS, 2012. Verified Carbon Standard. Disponible sur : <http://www.v-c-s.org/methodologies/find> [Consulté mars 25, 2012].
- VCS, 2012. Jurisdictional and Nested REDD+ (JNR) Requirements.
- Veríssimo, A., 1992. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. *Forest Ecology and Management*, (55), p.169–199.
- Viana Menezes, A.L., 2011. Impacto do manejo florestal comunitario no estoque de carbono da vegetação da reserva de desenvolvimento sustentável do Uatumã, AM, Brésil.
- Wagner, Fabien, Rutishauser, E., Blanc, L. & Herault, B., 2010. Effects of Plot Size and Census Interval on Descriptors of Forest Structure and Dynamics. *Biotropica*, 42(6), p.664-671.
- Walker, S., Pearson, T., Casarim, F., Harris, N., Petrova, S., Grais, A., Swails, E., Netzer, M., Goslee, Katherine & Brown, S., 2012. Standard Operating Procedures for Terrestrial Carbon Measurement: Version 2012.
- Winrock International, Climate Focus, Carbon decisions international, TerraCarbon LLC & Silvestrum, 2009. Estimation of carbon stocks and changes in carbon stocks in the dead wood carbon pool.
- Winrock International, Climate Focus, Carbon decisions international & TerraCarbon LLC, 2010. REDD Methodological Module « Estimation of carbon stocks and changes in the above- and below-ground biomass pools » – CP-AB.
- Yeboa Koffi, A., Brechet, L. & Soengas Lopez, B., 2005. Evaluation des dégâts d'exploitation sur le peuplement forestier résiduel en forêt aménagée de Guyane française (Parcelle Maripa 64), Engref.

#### Sites Internet consultés :

- REDD : <http://www.redd-services.info/fr/content/redd-pilot-project-cameroon>
- IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change : <http://www.ipcc.ch/>
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas : <http://www.ipt.br>
- MFS : <http://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustent%C3%A1vel>
- VCS -Verified Carbon Standard : <http://www.v-c-s.org/methodologies/find>
- IMAZON : [http://www.imazon.org.br/publicacoes?b\\_start:int=460](http://www.imazon.org.br/publicacoes?b_start:int=460)
- EMBRAPA: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/BovinoCorte/BovinoCortePara/paginas/coeficientes.html>
- INPE – PRODES: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>
- SIMLAM : [www.sema.mt.gov.br](http://www.sema.mt.gov.br)





**Les documents de travail du CIFOR contiennent des résultats préliminaires ou anticipés concernant d'importantes questions sur les forêts tropicales qui nécessitent d'être publiées à l'avance. Ces documents sont produits pour informer et inciter la discussion. Leur contenu a été révisé à l'interne, mais n'a pas subi la procédure d'examen par les pairs.**

Plusieurs institutions opérant dans la Municipalité ont joint leurs efforts en vue de développer un programme municipal REDD+ et des initiatives associées ayant pour objectif de lutter contre le déboisement et la dégradation des forêts telles que la mise en place d'un cadastre des propriétés rurales, la promotion d'un secteur forestier basé sur des pratiques de gestion durable et de faible impact, la promotion des bonnes pratiques d'élevage.

L'objectif de cette étude supportée par le projet FORAFAMA est d'analyser la faisabilité d'un tel programme municipal REDD+, d'une part au niveau des méthodologies carbone applicables, et d'autre part au niveau de la viabilité économique et financière.

Un programme REDD+ à l'échelle de la municipalité aura vocation à terme de s'intégrer dans un programme REDD+ juridictionnel porté par l'Etat Fédéral et/ou l'Etat du Mato Grosso. Dans cette étude, on se réfère donc aux lignes directrices développées par le VCS pour les programmes REDD+ juridictionnels, imbriqués et complétés par des éléments pertinents de méthodologie de projets.

L'analyse économique et financière est faite en utilisant un modèle Excel comparant les rentabilités et les émissions de carbone du scénario de référence (sans programme REDD+) et du scénario REDD+ (avec programme REDD+), en intégrant à ce dernier les revenus et coûts spécifiques au programme REDD+.

L'étude a été réalisée pour les propriétés rurales enregistrées dans le cadastre environnemental de l'Etat en 2011, qui représentent une surface de 456910 ha, sur une surface totale de propriété privée estimée à environ 510 900 ha dans la municipalité.

L'étude se compose ainsi de trois parties :

1. L'estimation des paramètres économiques et financiers de chaque usage du sol des scénarios de référence et de REDD+ : revenus, charges d'investissement et de fonctionnement, répartition des flux de trésorerie sur la durée du cycle de production ;
2. L'estimation des niveaux d'émissions de carbone pour chaque scénario : estimation des niveaux d'activité (déforestation, dégradation) et des facteurs d'émission associés ;
3. L'analyse de viabilité économique et financière : alimentation du modèle avec les paramètres estimés lors des deux étapes précédentes, analyses de sensibilité.



PROGRAMME DE  
RECHERCHE SUR  
les Forêts, les Arbres et  
l'Agroforesterie

Cette recherche a été menée par le CIFOR dans le cadre du Programme de recherche du CGIAR sur les forêts, les arbres et l'agroforesterie (CRP-FTA). Ce programme collaboratif vise à améliorer la gestion et l'utilisation des forêts, de l'agroforesterie et des ressources génétiques des arbres à l'échelle du paysage, des forêts aux exploitations agricoles. Le CIFOR dirige le CRP-FTA en partenariat avec Bioversity International, le CATIE, le CIRAD, le Centre international d'agriculture tropicale et le Centre mondial de l'Agroforesterie.

[cifor.org](http://cifor.org)

[blog.cifor.org](http://blog.cifor.org)



**Centre de recherche forestière internationale (CIFOR)**

Le CIFOR oeuvre en faveur du bien-être humain, de la conservation de l'environnement et de l'équité par sa recherche scientifique qui contribue à l'élaboration des politiques et des pratiques affectant les forêts dans les pays en développement. Le CIFOR est membre du Consortium du CGIAR. Son siège est situé à Bogor en Indonésie et il est également implanté en Asie, en Afrique et en Amérique latine.

