

PROGRAMME RÉGIONAL POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE



PARTENAIRES POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA GUYANE

ÉTUDE DE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA PRODUCTION DE GAZ À EFFET DE SERRE LIÉE AU DÉFRICHEMENT AGRICOLE EN GUYANE

Numéro de marché : 0945C0094

Étude réalisée par



Julien Demenois, Yves-Marie Gardette, Adeline Giraud, Marianne Rubio

version provisoire au 27 janvier 2010

Sommaire

1	Eléments de contexte de l'étude	4
1.1	Au niveau national : le Protocole de Kyoto et les politiques énergétiques	4
1.2	Au niveau régional : le développement agricole et les besoins énergétiques	4
2	Principe général des méthodologies applicables dans le cadre du projet	6
2.1	Approche par secteur	6
2.2	Approche « projet » de type Mécanisme de Développement Propre (MDP)	7
3	Estimation des émissions de GES au niveau de la parcelle	8
3.1	Emissions de GES liées à la combustion non contrôlée	8
3.1.1	Description du phénomène de combustion à l'air libre	8
3.1.2	Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO ₂ , CH ₄ et autres GES dues à la combustion à l'air libre	8
3.2	Emissions de GES liées à la décomposition de la biomasse	9
3.2.1	Description du phénomène de décomposition de la biomasse	9
3.2.2	Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO ₂ , CH ₄ et autres GES dues à la décomposition de la biomasse	9
3.3	Emissions de GES liées à l'exportation de biomasse hors de la parcelle	10
3.4	Quantités de biomasse sur la parcelle	10
3.4.1	Estimation de la quantité de biomasse initialement présente	10
3.4.2	Devenir de la biomasse initiale	10
3.5	Synthèse des émissions de GES au niveau de la parcelle	11
4	Estimation des émissions de GES lors du transport et du broyage	13
4.1	Emissions de GES liées au transport	13
4.1.1	Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO ₂ dues au transport	13
4.1.2	Calcul des émissions de GES liées au transport	13
4.2	Emissions de GES liées au broyage	14
4.2.1	Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO ₂ dues au broyage	14
4.2.2	Calcul des émissions de GES liées au broyage	14
4.3	Synthèse des émissions de GES liées au transport et au broyage	14
5	Estimation des émissions de GES au niveau de la centrale biomasse	15
5.1	Emissions de GES liée à la combustion de biomasse dans une chaudière	15
5.1.1	Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de GES liée à la combustion de biomasse dans une chaudière	15
5.1.2	Calcul des émissions de GES liées à la combustion en chaudière	15
5.2	Autres émissions potentielles de GES au niveau de la centrale biomasse	16
5.3	Synthèse des émissions de GES liées au niveau de la centrale biomasse	16
6	Gains attendus sur les émissions de GES par la valorisation en centrale biomasse et facteurs de variation .	17
6.1	« Gain climatique » potentiel en terme d'émissions de GES pour la Guyane	17
6.2	Facteurs de variation du « gain climatique »	17
6.2.1	Variation de la quantité de biomasse à l'hectare	17
6.2.2	Variation du facteur de combustion	18
6.2.3	Autres facteurs de variabilité	19
7	Conclusion	20
8	Glossaire	21
9	Bibliographie	22
10	Annexes	24

Introduction

Le déboisement lié à l'aménagement de la Guyane (agricole, urbain, minier) entraîne la destruction de grandes quantités de biomasse aujourd'hui non valorisée. Cette biomasse est aujourd'hui brûlée ou abandonnée sur les parcelles ce qui génère d'importantes quantités de gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane) qui impactent, d'un point de vue climatique, trois fois plus le bilan de l'activité humaine sur le territoire guyanais que la combustion de l'ensemble des importations de pétrole.

Valorisée en circuit fermé comme combustible dans des centrales de production d'énergie, cette biomasse émettrait moins de gaz à effet de serre « non-CO₂ », ce qui permettrait d'améliorer le bilan carbone du défrichement des parcelles boisées.

Devant l'ampleur de l'enjeu lié à la nécessité d'aménagement de la Guyane et à la promotion de la biomasse énergie, il apparaît nécessaire de disposer d'une méthode de calcul fiable des émissions de gaz à effet de serre (GES).

L'objectif de cette étude est donc de réaliser une synthèse des différentes sources bibliographiques afin :

- *de présenter la méthode de calcul actuellement applicable dans le cas des inventaires nationaux de GES permettant de faire le bilan gaz à effet de serre, pour la Guyane, du défrichement lié à l'aménagement avec brûlage en parcelle*
- *de présenter la méthode de calcul actuellement applicable dans le cas des inventaires nationaux de GES permettant de faire le bilan gaz à effet de serre, pour la Guyane, de la mobilisation du bois, depuis les parcelles boisées jusqu'aux chaudières ;*
- *de présenter la méthode de calcul actuellement applicable dans le cas des inventaires nationaux de GES permettant de faire le bilan gaz à effet de serre, pour la Guyane, de la combustion de la biomasse en chaudière*
- *d'évaluer le « gain climatique » à attendre en cas de valorisation énergétique de la biomasse issue des défrichements agricoles ,*
- *de discuter de la variabilité de ce gain.*

La présente étude aborde ainsi successivement les aspects suivants :

1. *Rappels sur l'inventaire national de GES et les enjeux de la valorisation énergétique de la biomasse issue des défrichements agricoles en Guyane ;*
2. *Principe général des méthodologies applicables dans le cadre du projet ;*
3. *Estimation des émissions de GES au niveau de la parcelle ;*
4. *Estimation des émissions de GES lors du transport et du broyage de la biomasse ;*
5. *Estimation des émissions de GES au niveau de la centrale biomasse ;*
6. *Gains attendus sur les émissions de GES par la valorisation en centrale biomasse et facteurs de variation.*

1 Eléments de contexte de l'étude

1.1 Au niveau national : le Protocole de Kyoto et les politiques énergétiques

Au titre des engagements de la France dans le cadre du Protocole de Kyoto, celle-ci a un objectif de stabilisation de ses émissions de GES entre 1990 (année de référence) et la période 2008-2012. Afin de s'assurer de l'atteinte de cet objectif, la France est tenue de réaliser annuellement un inventaire national des GES « ciblés » par le Protocole Kyoto, à savoir : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), et les composés fluorés (HFC, PFC, SF₆). Cet inventaire est réalisé par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) pour le compte du ministère en charge de l'environnement et couvre les sept secteurs suivants : la production d'énergie, l'industrie, la forêt, l'agriculture, les transports, les bâtiments résidentiels et commerciaux, les déchets et les eaux usées.

Le territoire guyanais fait ainsi l'objet d'une étude spécifique pour les secteurs précités. La prise en compte du secteur « forêt » a nécessité un travail méthodologique particulier réalisé par l'ONF, le CIRAD, l'IFN et l'IRD en 2006. Celui-ci s'attache au suivi des surfaces forestières converties à des fins d'agriculture, d'infrastructures, d'activités minières... L'impact des défrichements agricoles sur l'inventaire national des GES est affecté à ce secteur. Les estimations réalisées font état, en Guyane, de 4500 ha de forêt convertis annuellement à des fins d'agriculture, d'exploitation minière et d'infrastructures (barrage de Petit Saut inclus), représentant des émissions de GES d'environ 3,5 MtCO₂e/an.

Par ailleurs, la production d'énergie à partir de biomasse est un enjeu important en France. La biomasse constitue en effet une source d'énergie renouvelable considérable (première énergie renouvelable utilisée en France métropolitaine avec 9,1 millions de tep en 2007¹). Au regard des enjeux de lutte contre le changement climatique, le développement de systèmes de valorisation de la biomasse est jugé comme prioritaire. Cet objectif concerne tout à la fois l'utilisation de biomasse pour des besoins de chaleur (utilisation de bois énergie dans des systèmes de chaufferies bois individuelles, industrielles ou collectives), de production d'électricité (cogénération) et, à terme, pour le développement probable de biocarburants de deuxième génération. En France, un certain nombre d'initiatives et de programmes ont été mis en place pour permettre le développement de cette filière biomasse – ces initiatives sont encadrés par des textes réglementaires comme le Paquet Energie Climat au niveau européen (2008), l'adoption de la loi POPE en France (2005) ou les dispositions du Grenelle de l'Environnement.

Parmi les principales initiatives en place citons :

- le programme bois énergie de l'ADEME (2000-2006 puis 2007-2010) qui vise au développement de chaufferies individuelles ou collectives sur le territoire ;
- le programme BCIAT 2010 (Biomasse Chaleur Industrie Agriculture et Tertiaire) lancé dans le cadre du fonds « chaleur renouvelable » du Grenelle de l'Environnement : appel à projet visant les installations de production de chaleur à partir de biomasse de plus de 1 000 tep.
- l'adoption du décret qui augmente le tarif de rachat de l'électricité produite à partir de biomasse pour des installations de 5 à 12 MWe (2010),
- le lancement des appels à projets CRE (CRE1, CRE2, CRE3 et récemment CRE4) pilotés par la Commission de Régulation de l'Energie et qui vise à l'installation de centrale de cogénération électrique sur le territoire national.

1.2 Au niveau régional : le développement agricole et les besoins énergétiques

La Guyane connaît la plus forte croissance démographique (3,8 %/an) d'Amérique du Sud. Cette dynamique conjuguée au développement économique de la région, génère des besoins en infrastructures importants, notamment pour satisfaire la demande d'énergie, mais aussi agricoles.

La Directive Régionale d'Aménagement pour la région Nord Guyane (ONF, 2009) mentionne ainsi, au chapitre du développement agricole que « la Surface Agricole Utile (SAU) du département était d'environ 20.000 ha en 2000. Après avoir connu une augmentation très importante entre 1980 et 1989 en passant de 7.000 ha à

¹ Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, 2008 « L'Energie en France, Chiffres Clés », collection Repères, 40p.

20.000 ha, la SAU n'a augmenté que de 13 % entre 1989 et 2000. Le Schéma d'Aménagement Régional fixe quant à lui un objectif ambitieux de développement agricole de 100.000 ha de SAU à l'horizon 2020. En considérant l'actuelle redynamisation de l'activité agricole et l'aménagement de périmètres agricoles par l'EPAG pour les accueillir, on peut envisager une poursuite de l'augmentation de la SAU plus importante que celle constatée entre 1989 et 2000. De manière très approximative, un doublement de la SAU actuelle pour atteindre 50.000 ha à l'horizon 2015-2020 semble être une perspective raisonnable. » Aujourd'hui, les défrichements agricoles représentent environ 23 % des changements annuels d'affectation des terres forestières (IFN, 2008).

Au niveau énergétique, les prévisions d'accroissement du besoin en capacité de production sont de 20 MWe supplémentaires d'ici 10 ans (ONF-CIRAD, 2007). En outre, certaines installations de production existantes, fonctionnant à partir de combustibles fossiles, devront être renouvelées d'ici quelques années.

La question de la valorisation énergétique de la biomasse issue des défrichements agricoles en Guyane est donc majeure à plusieurs titres.

2 Principe général des méthodologies applicables dans le cadre du projet

2.1 Approche par secteur

La valorisation de la biomasse issue de défrichements agricoles va avoir, au niveau de l'inventaire national des GES, potentiellement des impacts sur les secteurs « forêt », « transport » et « production d'énergie ». Pour appréhender ces impacts, tout d'abord d'un point de vue qualitatif, il convient de décrire la situation qui prévaut actuellement, que l'on qualifiera de scénario de référence, à la ou aux situation(s) envisagées (le scénario projet).

Les pratiques actuelles de défrichement agricole en Guyane peuvent être décrites de la manière suivante :

- La végétation préexistante est abattue, voire dessouchée pour les arbres de plus gros diamètres ;
- Les troncs sont éventuellement billonnés sur site et mis en andains avec la végétation du sous-bois ;
- Les andains sont brûlés sur site (combustion à l'air libre en atmosphère non contrôlée) ;
- Le sol est décapé à la lame du bulldozer.

Ce scénario de référence n'a d'impact que sur le secteur « forêt » de l'inventaire national de GES.

Dans l'optique d'une valorisation énergétique de la biomasse forestière sur les zones de défriche agricole, la situation avec projet sera la suivante :

- La végétation préexistante est abattue, voire dessouchée pour les arbres de plus gros diamètres ;
- Les troncs et souches sont éventuellement billonnés sur site et mis en andains avec la végétation du sous-bois ;
- La végétation est broyée sur site ou évacuée sans brûlage pour être broyée sur une plate-forme ;
- Le sol est décapé à la lame du bulldozer.

Par ailleurs, la biomasse à valoriser sera transportée vers la ou les centrales de cogénération pour au final produire de l'électricité. Les secteurs « transport » et « production d'énergie » seront donc potentiellement impactés par le scénario projet.

La comparaison des deux scénarios doit permettre d'évaluer le gain en terme de gaz à effet de serre des deux situations.

Au niveau de la biomasse, et dans les deux cas, les quantités de carbone contenues dans la biomasse des parcelles sont émises vers l'atmosphère soit dans le cadre d'une combustion sur parcelle, soit dans le cadre d'une combustion en chaudière. Par convention, les émissions de CO₂ liées à cette perte de biomasse – qu'elle se fasse sur site (scénario de référence) ou dans une chaudière (scénario projet) – sont affectées au secteur « forêt ». Cependant, la combustion incomplète sur la parcelle va engendrer la formation de charbon, composé stable dans le temps dont les émissions de GES sont nulles. La combustion contrôlée en chaudière va induire une diminution de la production de charbon sur la parcelle donc une augmentation des émissions de CO₂ liées à l'exportation de biomasse hors de la zone de défriche agricole.

Une autre différence entre les deux scénarios est liée aux émissions de méthane et autres GES produites lors de la combustion en parcelle. En effet, lors de la combustion sur site, la combustion est incomplète et génère du méthane, gaz à effet de serre au Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) de 21 à 25 fois supérieur à celui du CO₂. Dans le cas d'une combustion en chaudière, les études montrent que leur impact sur l'effet de serre est négligeable² devant les autres sources d'émission du cycle du combustible (environ 3,2 gCH₄/Giga Joule³). Les émissions de méthane évitées représentent donc un gain net dans le cadre de la mise en place d'une filière de valorisation biomasse : la question centrale de l'étude est donc de savoir - comment est-il possible d'estimer ces émissions ? Quelle est la précision des méthodologies en place ? Est-il possible de les améliorer (et à quel coût) ? Quelle est l'importance du gain potentiel en terme de GES ?

² ADEME, 2007 « Bilan Carbone : guide des facteurs d'émission, version 5.0 », 240p.

³ ADEME - Bio Intelligence Service, 2005, « Bilan environnemental du chauffage collectif (avec réseau de chaleur) et industriel au bois », ADEME, 211p.

Au niveau du scénario projet, il faudra prendre en compte également les émissions associées à la mobilisation et au transport de cette biomasse sur les sites de production. Dans le cadre d'une défriche, les propriétaires réalisent des opérations d'abattage et de nettoyage des bois (par le feu mais également par débardage et mise en andains d'une partie de la biomasse). Ces opérations génèrent des émissions de GES au travers de la consommation de carburant des équipements (tronçonneuses, débardeurs). Pour simplifier, nous considérons que les émissions de carburants dans le cadre de la mobilisation de la biomasse sont sensiblement équivalentes (abattage et retrait des bois de la parcelle). La différence principale se fera donc au niveau de deux postes : le transport de la biomasse (entre les parcelles et les sites de production), le stockage et la transformation de cette biomasse en combustible « prêt » à l'utilisation c'est-à-dire le déchiquetage ou le broyage de cette matière.

Tableau 1 – Comparaison de l'impact des scénarios de référence et projet en terme d'émissions de GES

		Scénario de référence	Scénario projet	Différentiel Scénario projet / Scénario de référence
Au niveau de la parcelle	CO ₂	Liées à la combustion de la biomasse	Liées à l'exportation hors de la parcelle et à la combustion non contrôlée	Négatif
	CH ₄	Liées à la décomposition et à la combustion non contrôlée de la biomasse	Liées à la décomposition de la biomasse	Positif
	Autres GES	Liées à la combustion non contrôlée de la biomasse	Nulles	Positif
Lors du broyage et du transport	CO ₂	-	Liées à l'utilisation de combustibles fossiles	Négatif
	CH ₄	-	Négligées	Nul
	Autres GES	-	Négligées	Nul
Au niveau de la chaudière	CO ₂	-	Nulles par convention car prises en compte au niveau de la parcelle	Nul
	CH ₄	-	Négligeables	Nul
	Autres GES	-	Négligeables	Nul

2.2 Approche « projet » de type Mécanisme de Développement Propre (MDP)

Outre les méthodes de calculs délivrées par le GIEC pour les inventaires nationaux de GES, qui font référence à des secteurs d'activités – les secteurs « forêt », « production d'énergie » et « transport » dans notre cas d'espèce – des méthodologies et outils de calculs relatifs à des projets sont disponibles pour comparer deux situations (sans projet/avec projet). Celles développées dans le cadre du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP) couvrent la plus grande diversité de projets, donc de situations.

Toutefois, la revue bibliographique des méthodologies MDP existantes a mis en exergue le fait qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de méthodologie permettant de quantifier les différences d'émissions de GES entre le passage d'une combustion non contrôlée (brûlage sur site) à une combustion contrôlée dans une chaudière.

En revanche, dans le cas particulier de l'installation d'une centrale biomasse, l'impact climatique du projet pourra être évalué sur la base des méthodologies applicables aux projets de cogénération telle que la méthodologie MDP ACM 0006 – version 9. Le calcul nécessite de connaître les caractéristiques technologiques de la centrale.

Cette approche de calcul, non compatible dans le cadre de la présente étude, n'a pas été détaillée par la suite.

3 Estimation des émissions de GES au niveau de la parcelle

3.1 Emissions de GES liées à la combustion non contrôlée

3.1.1 Description du phénomène de combustion à l'air libre

Lors du passage du feu :

- une partie de la biomasse est « épargnée » et ainsi laissée en décomposition sur site. La part de biomasse laissée en décomposition est difficile à évaluer et variable en fonction du contexte du brûlis.
- le reste de cette biomasse est détruite ce qui génère des émissions de carbone (déstockage) sous forme de CO₂ mais aussi d'autres gaz traces tels que le méthane, ainsi que le monoxyde de carbone (CO), le protoxyde d'azote (N₂O) (PRG 300 fois supérieur à celui du CO₂), et des oxydes d'azote (NO_x).

Dans la grande majorité des cas, les brûlis se déroulent dans des conditions partiellement aérobiques qui conduisent à une combustion imparfaite : la biomasse brûlée est en partie consumée (oxydée) et en partie transformée en charbon de bois (environ 2,2% de la biomasse initiale selon Fearnside 1999), composé carboné qui reste stable plus d'une centaine d'années.

La combustion se déroule en deux phases : la première phase d'oxydation (combustion complète) ou « *flaming* » et la deuxième phase de réduction ou « *smouldering* ». C'est l'importance relative de ces deux phases qui déterminera à la fois les quantités relatives de gaz à effet de serre produits (ratios d'émission) et la proportion de biomasse consumée (facteur de combustion). Les gaz CO₂ et NO_x sont typiquement produits pendant la première phase, le CO et le CH₄ pendant la deuxième phase.

L'importance relative des deux phases de *flaming* et *smouldering* est déterminée par de nombreux facteurs : la composition de la végétation (densité, part de bois dur, d'arbustes, de feuilles, d'herbacées, de bois mort), son taux d'humidité, les conditions atmosphériques, la température du feu (partiellement fonction de son degré de contrôle). Le processus de combustion, et donc la répartition des gaz produits, pourront par exemple être très variables selon que le feu a lieu en saison sèche ou en saison humide. Dans ce dernier cas par exemple la combustion est moins complète.

L'importance des deux phases et les quantités relatives des différents gaz de combustion qui en résultent peuvent être évaluées de façon expérimentale sur le terrain. En l'absence de mesures locales, l'utilisation de facteurs par défaut de la littérature reste la seule possibilité, ce qui peut entraîner de fortes imprécisions dans l'estimation des émissions de GES.

La plupart du temps, dans la conduite des inventaires nationaux réalisés par les pays, les émissions de GES sont calculées de façon « indirecte » à partir d'une estimation de la biomasse initiale et de l'application de facteurs d'émission par défaut donnés par les guides de bonnes pratiques du GIEC évoqués plus haut⁴. Nous revenons ultérieurement sur l'estimation de la biomasse initiale.

3.1.2 Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO₂, CH₄ et autres GES dues à la combustion à l'air libre⁵

Pour estimer les émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre lors d'une combustion incomplète, le GIEC propose deux méthodes :

- la première méthode consiste à considérer que le carbone émis l'est sous forme de CO₂, et à estimer les valeurs d'émissions des autres GES selon les équations suivantes :

$$\text{Emissions CH}_4 = (\text{carbone émis}) \times (\text{ratio d'émission}) \times 16/12$$

⁴ Une alternative récente, consiste à évaluer la biomasse consumée à partir de la quantité d'énergie générée par le feu. Il a été en effet démontré que le pouvoir radiatif du feu (Fire Radiative Power ou FRP), exprimé en watts, était directement lié au taux de consommation de biomasse (g/s). Cette technique semble fournir des estimations fiables (+/- 15%) de la biomasse consumée. Le FRP est mesuré par télédétection dans les bandes moyen infra-rouge et infra-rouge thermique. Notons toutefois que cette solution se trouve encore à un stade expérimental.

⁵ GIEC, 2003. Good Practice Guidance for LandUse, LandUse Change and Forestry, Chapitre 3, p.3.48 à 3.50 et Tables IPCC Annexe 3 A.1.

$$\begin{aligned}\text{Emissions CO} &= (\text{carbone émis}) \times (\text{ratio d'émission}) \times 28/12 \\ \text{Emissions N}_2\text{O} &= (\text{carbone émis}) \times (\text{ratio N/C}) \times (\text{ratio d'émission}) \times 44/28 \\ \text{Emissions NO}_x &= (\text{carbone émis}) \times (\text{ratio N/C}) \times (\text{ratio d'émission}) \times 46/14\end{aligned}$$

- la deuxième méthode consiste à appliquer des facteurs d'émission⁶ à tous les GES émis, y compris le CO₂. Le facteur d'émission représente la quantité d'un gaz émis pour la combustion d'un kilogramme de matière sèche :

$$Q_{\text{GES émis par un feu sur un hectare}} = B \times C \times D \times 10^{-6}$$

Avec B = Quantité de biomasse disponible par hectare en kg de matière sèche/ha

C = Efficacité de la combustion

D = Facteur d'émission en g de GES/kg de ms

Dans le cadre des inventaires nationaux, le CITEPA utilise la première méthode proposée par le GIEC (calcul à partir des ratios d'émission). Les calculs présentés par la suite sont donc basés sur cette approche. La quantité de carbone émis est directement fonction de la biomasse brûlée et oxydée, selon la formule :

$$\text{Carbone émis} = Q_{\text{biomasse brûlée et oxydée}} \times F$$

Avec $Q_{\text{biomasse brûlée et oxydée}}$ en tonnes de matière sèche (tms)

F = fraction carbone de la matière sèche = 0,475 tC/tms par défaut (source GIEC)

Une fraction (2,2 %⁷) de la quantité de biomasse brûlée n'est pas oxydée et va être, à l'issue de la combustion, transformée sous forme de charbon. La quantité de biomasse carbonisée n'est pas comptabilisée dans les émissions car le charbon est un composé relativement stable dans le temps.

3.2 Emissions de GES liées à la décomposition de la biomasse

3.2.1 Description du phénomène de décomposition de la biomasse

Une fraction de la biomasse peut être laissée en décomposition dans le cas d'un défrichement agricole. Ce bois mort en décomposition va générer des émissions, difficiles à évaluer compte tenu des incertitudes sur les taux et la cinétique de transfert vers la litière, le sol, et vers l'atmosphère (respiration microbienne). Outre le CO₂, deux autres GES sont produits par la décomposition de la matière organique : le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O).

3.2.2 Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO₂, CH₄ et autres GES dues à la décomposition de la biomasse⁸

Dans l'approche préconisée par le GIEC, les pertes en carbone (émissions) du compartiment « bois mort » sont estimées sur la base de la quantité initiale disponible et d'un taux de décomposition annuel qui varie de 5% à 15% - les cycles de décomposition étant assez lents en forêt tropicale. Cette perte de carbone est ensuite transformée en émissions directes annuelles de CO₂ vers l'atmosphère en appliquant le facteur de conversion (carbone vers CO₂) (GIEC, 1996).

Le CO₂ est considéré comme totalement réémis dans l'atmosphère sur un pas de temps représenté par le p_{decay} (taux de décomposition). L'application du p_{decay} permet d'estimer les émissions annuelles. Dans le cas présent nous considérons la totalité des émissions dues à la décomposition du bois mort sur un pas de temps long, comme émises immédiatement. En effet, même si une partie des émissions aura lieu dans le futur, une partie des défrichements des années précédentes émettent aussi des GES qui ne sont pas comptabilisées. Par simplification, on considère chaque année l'ensemble des émissions émises.

La formule suivante est alors utilisée :

⁶ Voir l'annexe 1.

⁷ Fearnside, 1999.

⁸ GIEC 2003, chapitre 3, p. 3.32 à 3.36 et GIEC 2006, chapitre 4., p 4.20 à 4.22

$$Q_{\text{CO2 émis LT}} = Q_{\text{biomasse morte}} \times F \times 44/12$$

avec F = fraction carbone de la matière sèche = 0,475 tC/tms par défaut (source GIEC)

et $Q_{\text{biomasse morte}}$ = quantité de biomasse (tms) initialement présente non brûlée ou exportée de la parcelle

Le guide du GIEC ne donne pas de méthodologie pour évaluer les émissions de CH_4 et N_2O dues à la décomposition du bois mort. Devant la complexité des phénomènes, ces émissions ne sont actuellement pas prises en compte dans les inventaires nationaux.

3.3 Emissions de GES liées à l'exportation de biomasse hors de la parcelle

La valorisation d'une partie de la biomasse présente sur la parcelle sous forme de bois d'oeuvre et/ou de bois énergie va donner lieu à une exportation de celle-ci en dehors de la parcelle. La destruction du couvert boisé qui en résulte est prise en compte, dans le cadre des inventaires nationaux de GES, en terme d'émissions de CO_2 immédiates au niveau de la parcelle, conformément aux préconisations du GIEC.

Les quantités de carbone exportées dans le bois d'oeuvre sont estimées ainsi :

$$Q_{\text{CO2 exporté}} = Q_{\text{biomasse exportée}} \times F \times 44/12$$

avec F = fraction carbone de la matière sèche = 0,475 tC/tms par défaut (source GIEC)

et $Q_{\text{biomasse exportée}}$ = quantité de biomasse (tms) valorisée sous forme de bois d'oeuvre et/ou de bois-énergie

3.4 Quantités de biomasse sur la parcelle

3.4.1 Estimation de la quantité de biomasse initialement présente

La quantité de biomasse à l'hectare présente avant défrichement doit être évaluée afin d'utiliser les formules de calculs présentées précédemment. Elle l'est généralement soit à partir de données d'inventaires forestiers (diamètre, hauteur) et d'équations allométriques de biomasse (relation entre la quantité de biomasse et le diamètre et/ou la hauteur des arbres), soit à partir de données de volumes sur pied convertis en biomasse en appliquant une densité anhydre.

A partir des données des inventaires papetiers, Guitet (2006) dans son rapport d'inventaire de GES du secteur forêt pour la Guyane, fait une estimation de 320 à 380 tonnes de matière sèche par hectare pour la forêt de terre ferme, suivant les régions. Il utilise pour cela une méthode basée sur les volumes commerciaux et des facteurs d'expansion du houppier (méthode de Brown, avec une densité anhydre moyenne de 0,73), calibrée à l'aide des équations allométriques de Chave (2005). Guitet suggère que cette biomasse est sans doute légèrement surestimée. Nous utiliserons donc la valeur minimale conservatrice de 320 tms/ha, d'autant que les espaces forestiers sujets à défrichements agricoles sont avant tout ceux des Terres Basses de la frange sublittorale réputés moins riches en bois sur pied.

$$\text{Ainsi } Q_{\text{biomasse disponible}} = 320 \text{ tms/ha}$$

3.4.2 Devenir de la biomasse initiale

La biomasse disponible sur le site peut :

- soit être exportée hors de la parcelle sous forme de bois d'oeuvre et/ou de bois énergie
- soit être brûlée sur site
- soit être abandonnée sur site et laissée en décomposition sous forme de bois mort

On a donc :

$$Q_{\text{biomasse disponible}} = Q_{\text{biomasse exportée}} + Q_{\text{biomasse brûlée et oxydée}} + Q_{\text{biomasse morte}} + Q_{\text{biomasse carbonisée stable}}$$

Pour estimer ces quantités de biomasse, nous distinguerons les trois scénarios de défrichement agricole suivants :

- scénario de référence : défrichement seul sans valorisation de la biomasse

- scénario projet 1 : défrichement avec valorisation seule du bois d'œuvre
- scénario projet 2 : défrichement avec valorisation du bois d'oeuvre et du bois-énergie

Le prélèvement de bois d'œuvre est estimé à 14 m³/ha (Guitet, 2006) soit environ 10 tms/ha avec une densité anhydre moyenne de 0,73 tms/m³. Pour le scénario projet 2, on estime que globalement 85 % de la biomasse présente sur la parcelle pourra être valorisée.

Le taux de biomasse laissé en décomposition (biomasse morte) lors de la conversion en terres agricoles est variable et devrait faire l'objet d'une étude spécifique pour la Guyane. Par défaut, il est obtenu à partir du guide 1996 du GIEC utilisé par le CITEPA pour l'inventaire national de GES qui donne un facteur d'efficacité de la combustion de 90% de la biomasse initiale⁹ : 90 % de la biomasse initiale non exportée est brûlée mais pas nécessairement oxydée. Par ailleurs, 2,2 % de la biomasse brûlée est en fait transformée sous forme de charbon. La quantité de biomasse non exportée et non brûlée (oxydée ou transformé en charbon) est laissée morte sur site et se décompose.

Le devenir de la biomasse initiale présente sur la parcelle est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 – Répartition de la biomasse initiale en fonction des scénarios de défrichement agricole

	Scénario de référence		Scénario projet 1		Scénario projet 2	
Q biomasse exportée	0 %	0 tms/ha	3 %	10 tms/ha	85 %	272 tms/ha
Q biomasse morte	10 %	32 tms/ha	10 %	31 tms/ha	1,5 %	5 tms/ha
Q biomasse brûlée et oxydée	88 %	282 tms/ha	85 %	273 tms/ha	13 %	42 tms/ha
Q biomasse carbonisée stable	2 %	6 tms/ha	2 %	6 tms/ha	0,5 %	1 tms/ha

3.5 Synthèse des émissions de GES au niveau de la parcelle

Sur la base des formules de calcul explicitées précédemment, nous pouvons évaluer les émissions de GES comptabilisées dans le cadre de l'inventaire national de GES au niveau de la parcelle et imputées au secteur « forêt ».

Afin de quantifier le gain climatique escomptable lié à la récupération de la biomasse à des fins de valorisation essentiellement énergétique, nous comparons le scénario de référence au scénario projet 2. En effet, la seule récupération du bois d'oeuvre sur les zones de défriche est d'une part peu significative en terme de volume et d'autre part pratiquement peu mise en oeuvre sur le terrain en Guyane.

Le détail des calculs est présenté en annexe 2. Le tableau ci-dessous présente de manière synthétique les principaux résultats.

Tableau 3 – Emissions de GES au niveau de la parcelle dans les scénario de référence et projet 2 (en tCO₂e/ha)

		Scénario de référence	Scénario projet 2
Emissions liées à l'exportation de biomasse hors de la parcelle	CO ₂	0	474
	Autres GES	0	0
Emissions liées à la combustion non contrôlée de la biomasse	CO ₂	491	74
	Autres GES ¹⁰	58	9
Emissions liées à la décomposition de la biomasse	CO ₂	56	8
	Autres GES	0	0
TOTAL		605	565

Ainsi, au niveau de la parcelle, la valorisation de 85 % de la biomasse issue des défrichements à des fins de bois d'oeuvre ou de bois-énergie permet d'éviter l'émission de 40 tCO₂e/ha.

⁹ Fearnside et al. (1999) estiment un facteur de combustion de 39,3% pour la forêt amazonienne. Ces deux dernières valeurs correspondraient à des feux de végétation sauvage, non dirigés. Le CITEPA, dans les inventaires nationaux utilise un facteur par défaut de 0,9 – valeur par défaut du premier guide IPCC (1996), qui se rapprocherait davantage de combustion « de nettoyage », contrôlées.

¹⁰ Les émissions liées au CO ne sont pas comptabilisées ici car le CO ne fait pas partie des GES visés par le Protocole de Kyoto.

Cette valorisation entraîne une augmentation de 9 tCO₂e/ha (sous forme de CO₂) des émissions du fait de la diminution de la quantité de charbon produite et laissée sur site sous forme stable. En revanche, elle permet d'éviter l'émission de 49 tCO₂e/ha sous forme de GES autres que le CO₂ – principalement CH₄ (95 %) – du fait de la baisse de quantité de biomasse brûlée dans des conditions non contrôlées.

4 Estimation des émissions de GES lors du transport et du broyage

4.1 Emissions de GES liées au transport

4.1.1 Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO₂ dues au transport

Les émissions de CO₂ dues au transport des grumes vers la centrale biomasse doivent aussi être comptabilisées dans le cadre du scénario de valorisation de la biomasse à des fins de bois d'oeuvre et de bois-énergie. Ces émissions se calculent en intégrant consommation de carburant au kilomètre, quantité de biomasse transportée par voyage, et facteur d'émission global (émission directe par litre de carburant consommé x facteur d'émissions amont traduisant le coût carbone de la production du carburant).

Ainsi, pour une tonne de biomasse valorisée :

$$E_{\text{CO2 transport}} = (D_t \times C_{\text{km}} \times F_t) / Q_{\text{biomasse transportée/camion}}$$

Et pour un hectare de biomasse valorisée :

$$E_{\text{CO2 transport par ha}} = E_{\text{CO2 transport}} \times Q_{\text{biomasse par hectare}} = [(D_t \times C_{\text{km}} \times F_t) / Q_{\text{biomasse transportée/camion}}] \times Q_{\text{biomasse par hectare}}$$

Avec :

D_t = distance parcourue entre le lieu de coupe et la centrale d'utilisation du bois

C_{km} = consommation de carburant au kilomètre par le grumier

F_t = facteur global d'émission en kg de C/litre de carburant

4.1.2 Calcul des émissions de GES liées au transport

La distance maximale parcourue entre le lieu de coupe et la centrale biomasse ne devrait pas excéder 100 km. Les camions faisant le trajet aller à vide, nous considérons que

$$D_t = 200 \text{ km}$$

La consommation de carburant des grumiers en métropole est de 65 litres/100 km (comm. pers. Transporteurs). En Guyane, les charges peuvent être plus importantes et les pistes plus accidentées ; nous prendrons donc une marge de sécurité de 20% sur cette estimation ce qui nous donne une consommation estimée en Guyane à 75 litres/100 km.

$$C_{\text{km}} = 75 \text{ l/100 km}$$

Le facteur d'émission pour le transport est donné par la combinaison d'un facteur d'émissions directes (F_d) et d'un facteur amont lié à la production d'énergie (F_a).

Selon la méthodologie bilan ADEME de 2007 (Guide des facteurs d'émission), ces facteurs sont, pour le diesel :

$$F_d = 0,726 \text{ kg CO}_2/\text{litre} \pm 5\%$$

$$F_a = 0,077 \text{ kg CO}_2/\text{litre} \pm 5\%$$

$$F_t = F_d + F_a = 0,803 \text{ kg CO}_2/\text{litre}$$

L'ONF-Guyane (comm. Pers.) indique que les grumiers en service transportent habituellement environ 35 tonnes de matière verte à chaque voyage, ce qui correspond à 21 tonnes de matière sèche (en considérant un taux d'humidité de 40 % dans le bois).

$$Q_{\text{biomasse transportée/camion}} = 21 \text{ tms/camion}$$

Enfin, comme nous l'avons vu en 3.4.2., la quantité de biomasse à transporter vers la chaudière correspond à 85 % de la biomasse initialement présente sur la parcelle, soit 272 tms/ha.

$$Q_{\text{biomasse par hectare}} = 272 \text{ tms/ha}$$

D'où,

$$E_{\text{CO}_2 \text{ transport par hectare défriché}} = [(200 \times (75/100) \times 0,803 \times 10^{-3})/21] \times 272$$

$$E_{\text{CO}_2 \text{ transport par hectare défriché}} = 1,56 \text{ tCO}_2/\text{ha}$$

Au regard de ce chiffre, les autres GES émis sont considérés comme négligeables.

4.2 Emissions de GES liées au broyage

4.2.1 Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de CO₂ dues au broyage

Les émissions de GES liées au broyage sont dues à l'utilisation de combustible fossile (diesel). Le GIEC¹¹ donne la méthode suivante pour calculer les émissions de GES :

$$E_{\text{broyage par hectare défriché}} = Q_{\text{combustible_fossile}} \times F_t$$

Avec :

$Q_{\text{combustible_fossile}}$ = quantité de combustible fossile consommée (en litres/ha)

F_t = facteur d'émission du diesel (tCO₂e/l)

4.2.2 Calcul des émissions de GES liées au broyage

Sur la base d'une consommation de 4 litres par tonne de matière sèche broyée, on a, pour 272 tms/ha :

$$E_{\text{broyage par hectare défriché}} = 272 \times 4 \times 0,803 \times 10^{-3}$$

$$E_{\text{broyage par hectare défriché}} = 0,87 \text{ tCO}_2/\text{ha}$$

Au regard de ce chiffre, les autres GES émis sont considérés comme négligeables.

4.3 Synthèse des émissions de GES liées au transport et au broyage

Sur la base des formules de calcul explicitées précédemment, nous pouvons évaluer les émissions de GES comptabilisées dans le cadre de l'inventaire national de GES au niveau du transport et du broyage qui pourraient être imputées au secteur « transport ».

Tableau 4 – Emissions de GES liées au transport et au broyage de la biomasse à destination de la chaudière dans les scénario de référence et projet 2 (en tCO₂e/ha)

		Scénario de référence	Scénario projet 2
Emissions liées au transport	CO ₂	0	1,56
	Autres GES	0	négligeables
Emissions liées au broyage	CO ₂	0	0,87
	Autres GES	0	négligeables
TOTAL		0	2,4

Ainsi, la valorisation de 85 % de la biomasse issue des défrichements à des fins de bois d'oeuvre ou de bois-énergie va engendrer, du fait de son transport et de son broyage, une augmentation de 2,4 tCO₂e/ha défriché des émissions de GES.

¹¹ IPCC 2006, Guide des inventaires de GES, Chapitre 2, équation 2.1.

5 Estimation des émissions de GES au niveau de la centrale biomasse

5.1 Emissions de GES liée à la combustion de biomasse dans une chaudière

5.1.1 Méthodologie GIEC pour le calcul des émissions de GES liée à la combustion de biomasse dans une chaudière

Dans le cadre des inventaires nationaux de GES, on évalue les émissions de GES liées à la combustion de biomasse en chaudière en considérant que la combustion est complète et parfaite. Les études montrent que les émissions des GES autres que le CO₂ sont négligeables devant les autres sources d'émission du cycle du combustible (environ 3,2 gCH₄/GJ et 250 gCO/GJ, ADEME Bio Intelligence Service 2005).

Par conséquent, on a, d'après le GIEC :

$$\text{Carbone émis} = Q_{\text{biomasse brûlée et oxydée}} \times F$$

Avec $Q_{\text{biomasse brûlée et oxydée}}$ en tonnes de matière sèche (tms)

F = fraction carbone de la matière sèche = 0,475 tC/tms par défaut (source GIEC)

Or dans ce cas, la combustion étant complète, on a

$$Q_{\text{biomasse brûlée et oxydée}} = Q_{\text{biomasse exportée}}$$

$$E_{\text{CO}_2\text{ chaudière}} = Q_{\text{biomasse exportée}} \times F \times 44/12$$

Cependant, par convention, dans le cadre des inventaires nationaux de GES, les émissions de CO₂ liées à la combustion de biomasse dans une chaudière ne fonctionnant qu'à partir de ce combustible est prise en compte au niveau du secteur « forêt ». Aussi, ces émissions de CO₂ ont été comptabilisées au niveau de la parcelle, conformément aux préconisations du GIEC.

$$E_{\text{CO}_2\text{ chaudière}} = 0 \text{ (par convention)}$$

Bien que les émissions des GES autres que le CO₂ peuvent être considérées comme négligeables d'après XXX, leur évaluation¹² donne, pour le CH₄ et le CO :

$$E_{\text{CH}_4\text{ chaudière}} = E_{\text{biomasse brûlée}} \times F_{\text{CH}_4}$$

$$E_{\text{CO chaudière}} = E_{\text{biomasse brûlée}} \times F_{\text{CO}}$$

Avec :

$E_{\text{combustible brûlée}}$ = quantité d'énergie libérée par la combustion de biomasse (en TJ)

F_{CH_4} = facteur d'émission de la biomasse pour le CH₄ (tCH₄/TJ)

F_{CO} = facteur d'émission de la biomasse pour le CO (tCO/TJ)

De plus, on a :

$$E_{\text{biomasse brûlée}} = Q_{\text{biomasse brûlée}} \times \text{NCV}_{\text{biomasse}}$$

Avec :

$Q_{\text{biomasse brûlée}}$ = quantité de biomasse brûlée dans la chaudière (en tms)

$\text{NCV}_{\text{biomasse}}$ = valeur calorifique nette de la biomasse (en TJ/tms), égale à 0,015 TJ/tms d'après le GIEC, 2006.

5.1.2 Calcul des émissions de GES liées à la combustion en chaudière

Sur la base des éléments précédents, on a, pour 272 tms brûlées dans la chaudière :

¹² GIEC 2006, Guide des inventaires de GES, Chapitre 2, équation 2.1.

$$E_{CH_4_chaudière} = 0,33 \text{ tCO}_2\text{e/ha}$$

$$E_{CO_chaudière} = 1,94 \text{ tCO}_2\text{e/ha}$$

Soit environ 2,3 tCO₂e/ha. Cependant le CO ne fait pas partie des GES pris en compte par le Protocole de Kyoto. Aussi, nous ne comptabiliserons pas ses émissions dans le bilan.

5.2 Autres émissions potentielles de GES au niveau de la centrale biomasse

Outre les émissions de GES au niveau de la chaudière, d'autres émissions de GES peuvent survenir au niveau de la centrale biomasse en lien avec :

- les conditions de stockage de la biomasse. En effet, la biomasse stockée dans des conditions anaérobiques pourra générer des émissions de CH₄. Cela sera particulièrement sensible si un stock de plaquettes forestières doit être constitué en début de saison des pluies pour pallier à la diminution des défrichements agricoles pendant cette période ;
- l'utilisation de combustibles fossiles pour des opérations autres que le broyage.

Toutefois, par souci de simplification, ces émissions ont été négligées, considérant qu'elles ne représenteraient pas a priori des quantités importantes au regard des émissions quantifiées dans les autres sections de la présente étude.

5.3 Synthèse des émissions de GES liées au niveau de la centrale biomasse

Sur la base des formules de calcul explicitées précédemment, nous pouvons évaluer les émissions de GES qui pourraient être comptabilisées dans le cadre de l'inventaire national de GES et imputées au secteur « production d'énergie ».

Tableau 5 – Emissions de GES au niveau de la centrale biomasse dans les scénario de référence et projet 2 (en tCO₂e/ha)

		Scénario de référence	Scénario projet 2
Emissions liées à la chaudière	CO ₂	0	0
	Autres GES	0	0,3
Autres émissions au niveau de la centrale biomasse	CO ₂	0	Non évaluées
	Autres GES	0	Non évaluées
TOTAL		0	0,3

Ainsi, la valorisation de 85 % de la biomasse issue des défrichements à des fins de bois d'oeuvre ou de bois-énergie va engendrer, du fait de sa combustion au niveau d'une centrale biomasse, une augmentation de 0,3 tCO₂e/ha défriché des émissions de GES.

6 Gains attendus sur les émissions de GES par la valorisation en centrale biomasse et facteurs de variation

6.1 « Gain climatique » potentiel en terme d'émissions de GES pour la Guyane

Sur la base des tableaux 3 à 5, nous pouvons évaluer la diminution des émissions de GES liées à la valorisation à des fins de bois d'œuvre ou de bois-énergie de la biomasse issue des défrichements agricoles comme égale à 37,3 tCO₂e/ha défriché et valorisé, en comparaison à une situation initiale de brûlage sur site après défrichement. Cette diminution est due à l'évitement d'émissions de GES autres que le CO₂ lors du brûlage non contrôlé sur site. Par ailleurs, ce calcul présuppose que ces défrichements agricoles auraient nécessairement eu lieu et que la valorisation énergétique de la biomasse issue des défrichements n'induit pas une augmentation du rythme des défrichements.

Aujourd'hui, environ 1 000 ha (IFN, 2008) de forêt sont annuellement défrichés à des fins agricoles en Guyane. Les prévisions démographiques tendent à montrer que ce rythme de défrichement agricole augmentera dans les années à venir. Sur la base 2008, la valorisation énergétique de cette biomasse représenterait un gain potentiel annuel de 37 300 tCO₂e, soit environ 1 % des émissions de GES de la Guyane liées à tous les défrichements (agriculture, orpaillage, infrastructures...). Ce gain est en revanche fonction d'un certain nombre de paramètres dont la variabilité, parfois importante, est étudiée en 6.2.

La biomasse issue de ces défrichements pourrait représenter un approvisionnement annuel de 272 000 tms pour des centrales biomasse, fournissant approximativement 1 134 GWh¹³ au réseau guyanais. 1 MW électrique installé nécessite 10 à 12 000 tonnes¹⁴ de biomasse fraîche (à 40 % d'humidité), soit 6 à 7 200 tms/MWe installé. Le gisement de biomasse issu des défrichements agricoles actuels permettrait théoriquement d'assurer l'approvisionnement de 5 à 7 centrales biomasse d'environ 5 MWe. Pour mémoire, le besoin d'accroissement de la capacité de production électrique en Guyane à l'échéance 2020 est d'environ 20 MWe. La demande électrique permettrait donc d'absorber une grande partie l'énergie issue de ces centrales biomasse.

Les besoins énergétiques de la Guyane étant en forte croissance, il ressort qu'un « gain climatique » important est à rechercher au niveau de l'effet de substitution. Dans l'état actuel du réseau électrique guyanais, le contenu carbone de l'électricité est de 0,09 kgC/kWh¹⁵. Ainsi, la production de 1 134 GWh à partir de biomasse permettrait d'éviter l'émission de 374 220 tCO₂e.

6.2 Facteurs de variation du « gain climatique »

La méthode du GIEC actuelle repose sur un grand nombre d'options de départ parmi lesquelles l'utilisation de facteurs par défaut à différents niveaux. Ainsi, la biomasse initiale à l'hectare peut faire l'objet d'une hypothèse par défaut (par grand type de forêt), de même que l'efficacité de la combustion ou les facteurs d'émission des GES autres que le CO₂. Produire des coefficients mesurés localement en remplacement de ces facteurs par défaut pourrait permettre d'améliorer la précision du bilan carbone. Nous présentons ici ces facteurs essentiels, leur variabilité et leur influence possible sur le calcul final des émissions, dans le cadre d'une analyse de sensibilité.

Fearnside souligne dans son étude de 2009, citant Robinson 1989 : « *le simple calcul (Aire X Quantité de biomasse brûlée X Efficacité de la combustion) peut conduire à de grandes incertitudes, qui ont tendance à exploser quand le coefficient de variation de chaque terme dépasse 0,3* ».

6.2.1 Variation de la quantité de biomasse à l'hectare

Un niveau d'incertitude important concerne la quantité de biomasse disponible à l'hectare pour la zone concernée, avant défrichement et brûlage. En partie 3., nous avons utilisé une valeur conservative de 320 tms/ha, sachant que la fourchette de la référence Guitet et al. (2006) est de 320 à 380 tms/ha, soit une variation de 19% de la fourchette basse. Il faut noter que dans le même rapport (inventaire Guyane 2005,

¹³ Pour mémoire, la valeur calorifique nette des la biomasse est de 0,015 TJ/tms (GIEC, 2006) et 1 TJ équivaut à 278 MWh.

¹⁴ ONF, CIRAD, 2007, « Etude technico économique sur les possibilités de la biomasse pour l'alimentation électrique de la Guyane », 117p.

¹⁵ ADEME, 2008. Complément au guide des facteurs d'émissions pour les DOM, la Cors et la Nouvelle-Calédonie., p143.

MAP), Guitet indique d'autres valeurs de la littérature pour la biomasse à l'hectare, en-dehors de sa propre fourchette estimative : 251 à 417 t/ha selon les inventaires papetiers suivant les zones, 309 tms/ha selon Brown pour les forêts de terre ferme.

Pour information, Guitet donne les intervalles suivants pour l'estimation du stock de carbone dans les différents compartiments de la biomasse et du sol :

- biomasse épigée vivante autre que les arbres > 10 cm (lianes, palmiers, épiphytes, petites tiges) : 15 à 30 tC/ha ;
- biomasse épigée morte (litière et bois mort) : 20 à 40 tC/ha ;
- biomasse racinaire (hypogée vivante) : 30 à 80 tC/ha ;
- matière organique du sol : 75 à 100 tC/ha.

Cet extrait donne une idée de l'incertitude qui existe concernant les stocks de carbone en forêt, et de l'importance de disposer de nombreuses mesures locales et d'équations allométriques spécifiques des essences, voire des peuplements forestiers concernés pour estimer correctement les émissions dues au brûlage.

Une variation de 10 % de la quantité de biomasse à l'hectare entraîne une fluctuation de 11 % du « gain climatique ».

Une variation de 20 % de la quantité de biomasse à l'hectare entraîne une fluctuation de 19 % du « gain climatique ».

6.2.2 Variation du facteur de combustion

Le facteur de combustion (efficacité de la combustion) exprime la fraction de biomasse brûlée sur site. L'efficacité de la combustion est un paramètre susceptible de varier, et qui là encore nécessite des mesures locales. En effet, il est propre aux conditions de déroulement du feu et à son degré de contrôle.

Lors de la réalisation de l'inventaire français de GES, le CITEPA applique un facteur par défaut d'efficacité de la combustion de 0,9 (GIEC 1996). Ici nous avons appliqué le facteur par défaut de 0,5 proposé par le GIEC (GIEC 2003). Les facteurs proposés dans la bibliographie dans le contexte amazonien (Fearnside et al., 1999) se rapprochent davantage du GIEC 2003 (0,3-0,4). Or ce facteur détermine la quantité de carbone émise en CO₂ et surtout en autres GES (dans la méthode de calcul du GIEC).

Le guide de bonnes pratiques UTCF du GIEC donne un facteur de 0,32 (forêt tropicale primaire) à 0,5 (forêt tropicale humide); l'on trouve dans la littérature un facteur de 0,393 estimé par Fearnside et al. (1999) en forêt amazonienne. Dans sa publication « *An overview of the present knowledge on methane emissions from biomass burning* », Robert Delmas (1994) indique quelques valeurs de la littérature pour l'efficacité de la combustion des forêts tropicales : 0,25 (Seiler et Crutzen, 1980) ; 0,3 (Hao et al., 1990) ; 0,78 to 0,95 (Kauffman et al. 1992) ; 0,43 à 0,53 en forêt amazonienne (Ward et al. 1992). Delmas suggère une valeur réaliste moyenne de 0,4 à 0,5, et souligne l'importance d'estimer correctement ce paramètre.

Une baisse de 10 % du facteur de combustion (sur la base d'un facteur de 0,9) entraîne une baisse de 11 % du « gain climatique ».

Une baisse de 20 % du facteur de combustion (sur la base d'un facteur de 0,9) entraîne une baisse de 22 % du « gain climatique ».

Avec un facteur de combustion de 0,5 (GIEC, 2003), le « gain climatique » est de 19 tCO₂e/ha défriché et valorisé. Avec un facteur de combustion de 0,393 (Fearnside, 1999), le « gain climatique » est de 15 tCO₂e/ha défriché et valorisé.

Par conséquent, le résultat calculé au 6.1. sur la base des facteurs utilisés par le CITEPA surestime le « gain climatique » apporté par la valorisation de la biomasse issue des défrichements agricoles. On peut donc considérer que le facteur utilisé par le CITEPA surestime les émissions françaises ce qui est logique au niveau d'un inventaire national (en l'absence de données plus précises, des valeurs conservatives sont employées). Rappelons que les inventaires nationaux réalisés par les pays Annexe I du protocole de Kyoto sont vérifiés par des auditeurs indépendants de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).

6.2.3 Autres facteurs de variabilité

Les ratios d'émissions de GES autres que le CO₂ lors de la combustion non contrôlée de la biomasse sont également sujets à variabilité. Ainsi, Andreae et Merlet en 2001, cités par Fearnside 2009, indiquent des facteurs d'émission par tonne de carbone consommée de 0,0136 t de CH₄, 0,0004 t de N₂O, faisant ainsi augmenter le gain climatique de 7 % (75 tCO₂e/ha défriché et valorisé contre 70 tCO₂e avec les valeurs par défaut du GIEC.)

Pratiquement, ces paramètres peuvent être déterminés en effectuant des mesures directes de gaz émis sur le terrain (capture de « panaches » de fumées lors de la combustion et dosage des différents gaz).

Le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) des différents gaz émis lors de la combustion est sujet à variation en fonction notamment de la durée sur laquelle il est mesuré. Ici nous avons considéré une période de 100 ans ; si nous nous basons sur l'effet de réchauffement sur 25 ans, le PRG du méthane, par exemple, passe de 25 à 60. Par ailleurs le PRG de certains gaz comme les oxydes nitreux NO_x est soumis à de fortes incertitudes. Ce paramètre peut donc influencer grandement sur le bilan de GES en « tonnes équivalent carbone » tel qu'il doit être renseigné au niveau des inventaires nationaux et des inventaires projets.

7 Conclusion

L'étude a permis de mettre en évidence que la valorisation énergétique de la biomasse issue des 1 000 hectares de défrichements agricoles annuels en Guyane dans des centrales électriques permettrait de réduire d'environ 1 % les émissions de GES de la Guyane du secteur « forêt ». Si cet impact est réel, il n'en reste pas moins faible notamment car un certain nombre de paramètres (biomasse initiale, facteur de combustion...) intervenant dans sa quantification sont fortement variables. A titre d'exemple, l'utilisation du facteur de combustion de la biomasse spécifique à l'Amazonie ferait passer cette diminution à une valeur de 0,4 % des émissions de GES de la Guyane du secteur « forêt ».

Au-delà de l'impact climatique de la valorisation de la biomasse issue des défrichements agricoles, celle-ci pourra éventuellement avoir des conséquences sur la fertilité des terrains. En effet, comme nous l'avons vu, la quantité de charbon laissé sur site va diminuer de ce fait. A l'heure où l'étude des *terra preta* en Amazonie est mise sous les feux de l'actualité scientifique, cet aspect ne doit pas être éludé.

En revanche, l'impact climatique de la substitution énergétique de la production d'électricité à partir de biomasse est conforté. Celui-ci est 10 fois plus important que le gain lié à la valorisation énergétique de la biomasse issue des défrichements agricoles. De plus, il correspond à un besoin électrique à moyen terme et semble à ce titre atteignable.

Par ailleurs, le calcul a été réalisé sur la base de la configuration actuelle du réseau électrique guyanais, à savoir une production électrique principalement (70 %¹⁶) issue du barrage de Petit Saut. L'impact climatique serait d'autant plus important avec des scénarios alternatifs de production électrique à partir de centrale thermique fonctionnant au fioul (dans ce cadre, la même production de 1.134 GWh induirait les émissions de 850.000 à 900.000 tCO₂e selon le combustible de référence¹⁷).

Enfin, il est utile de rappeler que l'utilisation de biomasse issue de forêt gérées durablement, à des fins énergétique ou non, n'affecte pas l'inventaire national de GES. Le « gain climatique » lié à la mise en oeuvre de centrale biomasse s'en trouve donc accru (les émissions de CO₂ liées à la combustion de la biomasse, c'est-à-dire environ 500 tCO₂e, étant considérées comme réabsorbées au niveau des peuplements forestiers dans le cadre d'une gestion forestière durable).

Ces gains, pour être pris en compte dans l'inventaire national de GES de la France, doivent pouvoir être affectés de manière transparente et vérifiable par le CITEPA aux secteurs concernés. Aussi, à ce stade, les réductions d'émissions de GES évoquées ne sont que théoriques. Un système de suivi devrait être proposé au CITEPA pour que l'inventaire national de GES de la France puisse en bénéficier. Il semble que ce système soit facile à mettre en place en ce qui concerne les installations de cogénération électrique puisqu'il est assez simple d'estimer et de suivre les consommations de biomasse au regard des quantités énergétiques délivrées.

¹⁶ ADEME 2008, Complément au guide des facteurs d'émissions pour les DOM, la Corse et la Nouvelle-Calédonie, 143p.

¹⁷ Chiffres calculés à partir des émissions (KWh PCI) des combustibles fuel domestique et fuel lourd du guide des facteurs d'émission appliqués au DOM (ADEME, 2008) sur la base d'un rendement moyen des centrales de 40%.

8 Glossaire

BCIAT : Biomasse Chaleur Industrie Agriculture et Tertiaire
CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CH₄ : méthane
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CO : monoxyde de carbone
CO₂ : dioxyde de carbone
EPAG : Etablissement Public d'Aménagement de la Guyane
FRP : Fire Radiative Power
GES : Gaz à Effet de Serre
GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
IFN : Inventaire Forestier National
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
LULUCF : Land-Use, Land-Use Change and Forestry
MAP : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
MDP : Mécanisme de Développement Propre
MWe : méga watt électrique
N₂O : protoxyde d'azote
NO_x : oxydes d'azote
ONF : Office National des Forêts
PRG : Pouvoir de Réchauffement Global
tCO₂e : tonne équivalent CO₂
Tep : tonne équivalent pétrole
tms : tonne de matière sèche
SAU : Surface Agricole Utile
UTCF : Utilisation des Terres, Changements et Forestier

9 Bibliographie

ADEME, 2009 « Méthode Bilan Carbone version V6.0 »

ADEME, janvier 2007 « Bilan Carbone Entreprises et Collectivités, guide des facteurs d'émissions version 5.0 », 240p.

ADEME, juillet 2008 « Bilan Carbone Entreprises et Collectivités, Complément au guide des facteurs d'émissions version 5.0 pour les DOM, la Corse et la Nouvelle Calédonie », 143p.

ADEME – Bio Intelligence Service, 2005 « Bilan Carbone du chauffage collectif au bois », 211p.

CHAVE, J., ANDALO C. et *al.* (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1): 87-99.

DELMAS R., 1994. An overview of present knowledge on methane emission from biomass burning. *Fertilizer Research* n°37, PP. 181-190.

FEARNSIDE P., RIGGHI C., LIMA DE ALENCASTRO GRAÇA P., CERRI C., NOGUEIRA E., BARBOSA R., 2009. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian « Arc of Deforestation » : the states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management*.

FEARNSIDE, P.M., P.M.L.A. GRAÇA, N. LEAL FILHO, F.J.A. RODRIGUES AND J.M. ROBINSON. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management* 123(1): 65-79. [Mêmes articles pour Roraima : 2007, Manaus : 2000, Rondonia : 1998].

GUITET S, BLANC L, CHAVE J., GOMIS A., 2006. Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise – rapport final. (MAP, ONF, CNRS, CIRAD).

HAO, 1990 dans DELMAS R., 1994. An overview of present knowledge on methane emission from biomass burning. *Fertilizer Research* n°37, PP. 181-190.

IFN, 2008. « Suivi de l'occupation du sol et des changements d'occupation du sol en Guyane par télédétection satellitaire », 50p.

KAUFFMAN, 1992 dans DELMAS R., 1994. An overview of present knowledge on methane emission from biomass burning. *Fertilizer Research* n°37, PP. 181-190.

GIEC, 1996, Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 3 volumes.

GIEC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. Chapter 3 : LULUCF Good Practice Guidance, 3.2-Forestry.

GIEC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Chapter 4 « Forest Land ».

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, 2008 « L'Energie en France, Chiffres Clés », collection Repères, 40p.

ONF, CIRAD, 2007, « Etude technico économique sur les possibilités de la biomasse pour l'alimentation électrique de la Guyane », 117p.

ONF, 2009. « Directive Régionale d'Aménagement – Région Nord-Guyane », 103p.

SEILER et CRUTZEN, 1980 dans DELMAS R., 1994. An overview of present knowledge on methane emission from biomass burning. *Fertilizer Research* n°37, PP. 181-190.

WARD DE., KAUFFMAN JB., BABBITT RE., CUMMINGS DL., DIAS B., HOLBEN BN., KAUFMAN YJ., RASMUSSEN RA., SETZER AW., 1992. Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil : Base-B Experiment. *Journal of geophysical research*.

10 Annexes

Annexe 1 – Facteurs d'émission relatifs à la combustion non contrôlée (GIEC, 2003. Tableau 3A1.16)

Gaz	Ref. IPCC 2003 ¹⁸ (g/kg de matière sèche)
CO ₂	1531 - 1580
CO	112 - 130
CH ₄	7,1 – 9
NO _x	0,6 – 0,8
N ₂ O	0,11

¹⁸ Kaufman et al. 1992, Delmas et al. 1994

Annexe 2 – Calculs des émissions de GES au niveau de la parcelle

<i>tCO₂e/ha</i>		Scénario référence	Scénario projet 1	Scénario projet 2
Exportation de biomasse hors de la parcelle	CO ₂	0	17	474
	CH ₄	0	0	0
	CO	0	0	0
	NO _x	0	0	0
	N ₂ O	0	0	0
Total export biomasse (tous GES)		0	17	474
Combustion non contrôlée de la biomasse	CO ₂	491	475	74
	CH ₄	53,5	51,8	8,0
	CO	35,6	34,5	5,3
	NO _x	0,53	0,52	0,08
	N ₂ O	4,39	4,25	0,66
total autres GES que CO ₂		57,90	56,09	8,69
Total combustion biomasse (tous GES)		548	531	82
Décomposition de la biomasse	CO ₂	56	54	8
	CH ₄	0	0	0
	CO	0	0	0
	NO _x	0	0	0
	N ₂ O	0	0	0
Total décomposition biomasse		56	54	8
TOTAL (tous GES)		604	603	564

Biomasse

<i>Q biomasse initiale</i>	320	<i>tms/ha</i>	Guitet, 2006
<i>Efficacité de la combustion</i>	0,9		GIEC 1996
<i>Fraction de biomasse brûlée carbonisée</i>	0,022		Fearnside, 2003

<i>tms/ha</i>	Scénario référence	Scénario projet 1	Scénario projet 2
<i>Qbiomasse exportée</i>	0	10	272
<i>Qbiomasse morte</i>	32	31	4,8
<i>Qbiomasse brûlée</i>	288	279	43,2
<i>Qbiomasse brûlée et oxydée</i>	282	273	42,2
<i>Qbiomasse carbonisée stable</i>	6	6	1,0

Paramètres divers

<i>F</i>	0,475	<i>tC/tms</i>	
<i>rapport C/CO₂</i>	3,67	<i>tCO₂/tC</i>	
<i>rapport C/CO</i>	2,33	<i>tCO/tC</i>	
<i>rapport C/CH₄</i>	1,33	<i>tCH₄/tC</i>	
<i>rapport N/NO_x</i>	3,29	<i>tN/tNO_x</i>	
<i>rapport N/N₂O</i>	1,57	<i>tN/tN₂O</i>	
<i>rapport N/C</i>	0,01	<i>tC/tN</i>	
<i>ratio émission CO₂</i>	1		
<i>ratio émission CH₄</i>	0,012		Table 3.A.1.15, IPCC 2003
<i>ratio émission CO</i>	0,06		Table 3.A.1.15, IPCC 2003
<i>ratio émission NO_x</i>	0,121		Table 3.A.1.15, IPCC 2003
<i>ratio émission N₂O</i>	0,007		Table 3.A.1.15, IPCC 2003
<i>PRG CH₄</i>	25		
<i>PRG CO</i>	1,9		
<i>PRG NO_x</i>	-		
<i>PRG N₂O</i>	298		

Annexe 3 – Le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)

Les quantités des différents Gaz à Effet de Serre émis sont converties en tonnes équivalent CO₂. La conversion d'un gaz autre que le CO₂ en CO₂ se fait en comparant le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) de chaque gaz. L'effet du relâchement dans l'atmosphère d'un kilo de GES n'est pas le même quel que soit le gaz. Le PRG quantifie l'impact cumulé sur le climat de chaque gaz. Il indique « combien de fois plus » un kg de ce gaz « perturbe le climat » (en fait les échanges radiatifs), pendant une durée donnée, qu'un kg de gaz carbonique. Le PRG permet d'appréhender à la fois:

- la capacité d'absorption instantanée du gaz découlant de ses raies d'absorption
- sa durée de séjour dans l'atmosphère

Sa valeur se mesure non pas dans l'absolu mais relativement au CO₂. Ainsi, par construction, le PRG du CO₂ est fixé à 1.

Les PRG utilisés dans la présente étude sont issus du troisième rapport du GIEC.

En ce qui concerne les oxydes nitreux (NOx), leur court cycle de vie et leur chimie complexe causent des effets indirects, positifs et négatifs, sur la couche d'ozone et l'effet de serre, qui sont mal connus et rendent les calculs hasardeux. Le GIEC ne donne donc pas de valeur de PRG pour ces gaz dont nous n'avons pas tenu compte dans l'étude (source : GIEC – TAR).