

INDICATEURS PRESENTIS POUR UNE ANALYSE COMPARATIVE DES IMPACTS ET DES RISQUES LIES AUX DIFFERENTS MODELES DE DEVELOPPEMENT DES PLANTATIONS BIOMASSE

Etude n°3 – Rapport final

Juillet 2014



PORTEUR DE PROJET :

Bureau d'étude SIMA-PECAT

Vincent GUERRERE (directeur)

Port : 06 94 16 93 18

Mail : vincent.guerrere@sima-pecat.org

www.sima-pecat.org



PARTENAIRES :

Bureau d'étude H2E

Fabrice BROCHARD

Port : 06 94 43 33 25

Mail : h2eguyane@orange.fr

Bureau d'étude Guyane Consult

Julien CAZE (directeur)

Port : 06 94 12 14 11

Mail : julien.cazes@guyaneconsult.com



Sommaire :

I.	INTRODUCTION	1
II.	CONTEXTE	1
1.	PRESENTATION DE L'ETUDE	1
➤	STRUCTURATION DU PROGRAMME D'ETUDE SUR LES PLANTATIONS BIOMASSE	1
➤	OBJECTIFS DE L'ETUDE	2
2.	BREF ETAT DE LA SITUATION DU CONTEXTE EN GUYANE ET AU BRESIL	2
III.	LES SCÉNARIOS ET GRANDS TYPES DE DEVELOPPEMENTS AU BRESIL	3
1.	LES GRANDS SCENARIOS VISES POUR L'ANALYSE COMPARATIVE GLOBALE DES RISQUES D'IMPACTS	3
2.	RISQUE DE DISPROPORTION EN INFORMATION	3
IV.	COUPLAGE AVEC D'AUTRES PROGRAMMES D'ETUDE	4
1.	AGROFOR-BIO 1	4
2.	REDD+ PLATEAU DES GUYANES	4
V.	LES INDICATEURS ÉTUDIÉS	5
1.	ETAT INITIAL	5
2.	MODES DE PRODUCTION DE BIOMASSE ENERGIE - SCENARIOS ETUDIES	6
3.	RISQUES D'IMPACTS EAU-PLANTE-SOL	7
➤	RÉGIME HYDRIQUE	7
➤	L'ÉROSION	12
➤	QUALITÉ ET FERTILITÉ DES SOLS	13
➤	RISQUES CHIMIQUES	16
4.	BIODIVERSITE	16
➤	FLORE	17
➤	FAUNE ET AVIFAUNE	18
➤	CORRIDORS BIOLOGIQUES	18
➤	INVASIBILITE DES ESSENCES UTILISEES	19
5.	BIODIVERSITE, PAYSAGE, CHANGEMENT D'ECHELLE ET AMENAGEMENT DES TERRITOIRES	20
6.	BILAN GAZ A EFFET DE SERRE	23
➤	INTRODUCTION	23
➤	ELABORATION DU SCENARIO INITIAL	23
➤	ELABORATION DES SCENARIOS ALTERNATIFS	24
➤	COMPARAISON DES BILANS GES DES SCENARIOS ALTERNATIFS	32
➤	DISCUSSION	32
➤	CONCLUSION	33
7.	POSSIBILITE DE LABELISATION	33
➤	REDD+	33
➤	LABELLISATION FSC	33
VI.	SYNTHÈSE DES TYPES D'EFFETS ENVIRONNEMENTAUX DES PLANTATIONS BOIS ÉNERGIE	34
VII.	RECOMMANDATIONS POUR LA PLANTATION DE BOIS ENERGIE EN GUYANE	36
VIII.	CONCLUSIONS	39
IX.	LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES PRÉ-SÉLECTIONNÉES	40

I. INTRODUCTION

Le PRME a commandé une première étude sur les ressources biomasse à vocation énergétique. L'ONF et le CIRAD, en charge de la prestation, ont livré en 2007, une étude dont les conclusions ont écarté les ressources issues de cultures énergétiques, jugées trop chères.

En 2011, les études menées par le PRME et l'ONF, sur l'essai pilote de Balata Saut Léodate, ont conduit à des coûts assez élevés du bois énergie classique, pouvant rendre attractif la question des cultures biomasse.

Le ministère de l'Outre-mer a commandé en 2011 aux BE SOMIVAL/SIMA-PECAT/H2E une étude faisant un état des lieux des ressources et potentiels.

En parallèle, le Brésil mène encore et toujours une politique de développement de la filière sylvicole très volontariste. De grandes plantations forestières (bois d'œuvre, bois pour trituration, bois énergie...) voient le jour dans l'Etat de l'Amapa, au Nord du Brésil, sous des conditions pédoclimatiques d'exploitation sensiblement identiques à celles rencontrées en Guyane.

En 2012, une dizaine d'industriels étudient des solutions alternatives d'approvisionnement biomasse en Guyane. Initialement, l'approvisionnement des centrales a été réfléchi à partir essentiellement de la biomasse issue des défriches agricoles et de ressource ONF. Cependant, pour des questions de durabilité, il apparaît nécessaire de réfléchir d'ores et déjà à d'autres sources d'approvisionnement. Par ailleurs gérer sa propre production est considérée par le secteur professionnel/industriel comme plus sécuritaire. Certains industriels ont d'ailleurs intégré la culture énergétique dans le mix de leur plan d'approvisionnement, ou du moins l'ont citée comme une solution à moyen / long terme, témoignant ainsi d'une volonté / besoin d'expertise de la thématique dès à présent.

Sur cette base, dans un souci de diversification des ressources d'approvisionnement, et du fait de la volonté régionale d'explorer les possibilités offertes par ce gisement, le comité de gestion du PRME a commandé une étude sur le retour d'expériences des plantations à vocations énergétiques (bois).

Par ailleurs, il est nécessaire, avant de réaliser des essais terrain, de capitaliser la connaissance déjà acquise tant par nos voisins qu'en Guyane. Les essais sont en effet très longs, peuvent concerner des dizaines d'espèces avec des modes opératoires variés et donc être très coûteux.

Il est donc nécessaire de discriminer les essais à réaliser en Guyane, en s'appuyant au maximum sur l'expérience acquise. Plusieurs sources de données (types de données et origines géographiques) sont à exploiter et à croiser, donnant lieu à un programme de quatre études qui se succèdent et se complètent.

Par ces commandes, le PRME entend disposer d'éléments techniques, financiers et environnementaux, lui permettant de faire le choix des solutions les plus pertinentes pour la Guyane, afin de faire usage d'une nouvelle ressource à vocation énergétique que pourraient être les plantations biomasse forestières dédiées.

II. CONTEXTE

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

➤ STRUCTURATION DU PROGRAMME D'ETUDE SUR LES PLANTATIONS BIOMASSE

Le programme d'étude commandé par le PRME se décompose en quatre lots d'études. La question globale étant **“Avec quelles essences et selon quels itinéraires techniques est-il possible de produire de la biomasse ligneuse en Guyane ?”**. Les quatre études se succèdent avec chacune une question propre qui entre dans une démarche constructive et chronologique selon une approche benchmarking et prospective :

- Quels sont les retours d'expérience de la Guyane et quels enseignements en tirer ?
- Quelles sont les pistes développées dans les pays limitrophes et est-ce transposable en Guyane ?
- Quels sont les risques et les impacts liés aux projets/outils/méthodes alors envisagés pour le futur développement de notre territoire ?
- Comment fait-on pour développer, structurer, inciter et mettre en œuvre une telle filière (mission d'AMO) ?



Etude 1
Expériences et Compétences
acquises par le passé en
Guyane.

(1 note intermédiaire listant les
ressources bibliographiques + 1
rapport de synthèse)



Etude 2
Benchmark sur les
expériences, les projets et
les compétences en
plantation biomasse au
Brésil.

(1 note intermédiaire de
présentation de la feuille de route +
1 rapport de synthèse sur les
éléments récoltés à l'étranger)



Etude 3
Impacts et Risques des
plantations à vocation
biomasse.

(1 note intermédiaire sur les
indicateurs d'évaluation + 1 note de
synthèse)



Etude 4
Assistance à Maitrise
d'Ouvrage - Etudes de
poursuite et Essais pilotes.

(1 note de synthèse et conclusions
des trois études précédentes +
travail de programmation des
poursuites à donner)

➤ OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif final est double :

- D'une part fournir une grille de lecture et d'analyse pour comparer les différentes grandes voies de développements/grands itinéraires rencontrés sur la visite au Brésil à l'aide d'indicateurs qualitatifs et semi quantitatifs (des exemples précis quantitatifs pourront être fournis pour illustrer et faire transparaître les conclusions de grands programmes d'études Brésiliens, mais la transposabilité de ces résultats est trop souvent faible).
- D'autre part de disposer de critères environnementaux à étudier entre différents scénarios d'approvisionnements biomasse (par exemple plantation / mise en exploitation énergétique de la forêt) et entre différentes ressources renouvelables.

La mission consiste à faire la collecte et l'analyse des expériences brésiliennes pertinentes, et d'en faire une lecture dans le sens de cultures énergétiques probables en Guyane, afin d'orienter les besoins d'essais locaux et/ou définir les éléments nécessaires aux futurs référentiels d'évaluation des impacts.

Sur la base des études et retour d'expériences brésiliennes, l'étude indiquera un cadrage préalable des premiers critères et conditions écologiques d'exploitation semblant acceptables sans que ces contraintes d'évaluation ou d'exploitation soient à priori économiquement disproportionnées.

Il s'agira ainsi de référencer les premières sources d'informations sur les risques d'impacts des espèces exotiques, de l'érosion, des intrants et des émissions de GES puis de proposer des pistes pour des modèles moins impactant (plantation mixte ?, agroforesterie ?, patchwork ?, corridor ?, trame verte et bleue ?...) et/ou des schémas compensatoires (projet Fibria, ORSA, AMCEL...) qui sont susceptibles de rendre acceptables les risques d'impacts des projets. Il sera *in fine* nécessaire que ces prémices de mesures et d'orientations tendent vers une acceptabilité économique à vérifier lors des expérimentations à petites voire à grandes échelles.

2. BREF ETAT DE LA SITUATION DU CONTEXTE EN GUYANE ET AU BRÉSIL

Les essais expérimentaux de plantations en Guyane ont été entrepris suite aux tentatives de développement d'une filière papetière. Les essais guyanais ne se sont pas prolongés car cette filière n'a jamais vu le jour (malgré une tentative de réenclencher directement sur la filière biomasse énergie dans les années 1980). Par contre, au Brésil, ces vocations de développement (industries papetières, fourniture de plaquettes...) et les techniques de plantations sur sols ferrallitiques sont matures pour quelques espèces.

Cependant les risques d'impacts sur la gestion de l'eau et des sols, le climat et la biodiversité ont été des sources de polémiques au niveau mondial. Même si la déforestation de forêts primaires pour conversion en forêts plantées (comme il était prévu lors du plan papetier de Guyane) a exercé dans les années passées de très fortes pressions au Brésil. Grâce à la refonte du code forestier brésilien et la prise de responsabilités de certains Etats Fédéraux plus vertueux, aujourd'hui, la tendance dans bon nombre d'Etats Fédéraux s'oriente vers de nouveaux projets de plantation et de valorisation des terrains dégradés. Ces terrains ont été notamment dégradés par la défriche pour des pâturages qui n'ont pas été suffisamment entretenus, et ont été abandonnés.

Par exemple, la surface des terrains dégradés anciennement pâturés ou insuffisamment entretenus est-elle suffisante pour être le support des scénarios de plantations dédiées (scénario 1) ou de systèmes sylvo-pastoraux (scénario 2) ? Ces scénarios seront comparés à la récupération des rémanents issus des plantations forestières à vocation bois d'œuvre (scénario 3).

III. LES SCÉNARIOS ET GRANDS TYPES DE DEVELOPPEMENTS AU BRESIL

1. LES GRANDS SCENARIOS VISES POUR L'ANALYSE COMPARATIVE GLOBALE DES RISQUES D'IMPACTS

Pour de grands projets comme ORSA/JARI et AMCEL, ce sont plusieurs scénarios de développement qu'il est possible d'appréhender au sein de chaque projet industriel de territoire. Ces projets complexes d'aménagement de grands territoires (comme expliqué au paragraphe sur le REDD+) intègrent en parallèle :

Plantations industrielles sur terrains dégradés ou par conversions forestières ;

- Plantations mono-spécifiques, plantations mixtes, plantations d'espèces exotiques/natives ;
- Plantations agroforestières/biomasse à l'échelle d'exploitations agricoles et coopératives ;
- Aménagement écologiquement intégré (corridor, trame verte/bleue...) ;
- Labellisation forestière et/ou REDD+ ;
- Aménagement de vastes zones forestières protégées et gérées ;
- Développement communautaire (zone d'extraction, santé, éducation...)...

Les schémas agroforestiers (sylvopastoralisme) à vocation biomasse sont en plein développement au Brésil, le couplage des visites de terrains avec la feuille de route du projet Réseau Rural AGROFOR-BIO 1 a permis de diversifier les scénarios sur des projets à des tailles plus restreintes (agriculteurs et coopératives) (cf. paragraphe 3 & 6).

Nous évaluerons de plus les analogies potentielles entre les mesures de Guyane et les mesures de labellisation et de projet REDD, notamment en rapport à deux projets du Brésil :

- AMCEL (état fédéral de l'AMAPA) où un projet labellisé FSC est en cours d'implantation, FSC ne labellise que des plantations avant 1994, ou des plantations récentes sur zones dégradées. Un projet REDD est également en prévision.
- ORSA (état fédéral de l'Amapa et du Para). Avec une aire géographique de 545 000 hectares de forêt primaire en gestion durable, entourée par des aires protégées bien plus vastes, est entrée en négociation avec le bureau national REDD au côté d'IPB pour enclencher un projet REDD.

Ce volet sera complété par les informations du séminaire REDD+ plateau des Guyanes qui s'est déroulé sur Macapa le 10 et 11 Décembre 2013. Lors de ce séminaire, sont abordés les politiques en places dans les Etats Brésiliens ce qui permet d'envisager en parallèle des concepts/mécanismes de structuration de filières innovantes et nouvelles en Guyane.

2. RISQUE DE DISPROPORTION EN INFORMATION

Le Brésil a fondé son empire sylvicole sur la monoculture de l'Eucalyptus et dans une moindre mesure sur celle du Pin. La bibliographie, tant des chercheurs Brésiliens que des chercheurs du CIRAD, fait un focus important sur ces cultures à croissance rapide sur un volet purement industriel, et dans une moindre mesure sur l'agencement de ces essences dans l'agroforesterie ou l'usage d'autres essences natives.

Il y aura de fait une disproportion inévitable en termes de qualité/quantité de ressource bibliographique entre ces essences (90 % de la bibliographie) et les autres pistes de développement (essences natives, plantations mixtes,...).

IV. COUPLAGE AVEC D'AUTRES PROGRAMMES D'ETUDE

1. AGROFOR-BIO 1

H2E et SIMA-PECAT sont aujourd'hui engagés dans un projet avec la DAAF de Guyane et le Réseau Rural de Guyane. Le projet intitulé Agroforesterie et Biomasse de Guyane (AGROFOR-BIO 1) arbore une logique analogue aux présentes études du PRME sur les plantations biomasse.

Même si le volet biomasse d'AGROFOR-BIO ne traite pas exclusivement de la vente de matière pour l'énergie en complément de revenu sur une exploitation, mais également de l'usage du bois comme facteur de production par exemple (mulch, BRP...), certaines pratiques associant élevage, grandes cultures et production de bois en rotation courtes sont promues et développées depuis 2006 dans la région amazonienne. De fait, de nombreux sites visités au Brésil ont été sélectionnés parce qu'ils étaient transversaux aux deux programmes d'études.

2. REDD+ PLATEAU DES GUYANES

Le projet REDD + Plateau des Guyanes regroupe le Guyana, l'Amapa, le Surinam et la Guyane (représentée par l'ONF et la Région Guyane), ce projet propose de valoriser le capital environnemental que représente le Plateau des Guyanes en luttant contre la déforestation et la dégradation forestière via la valorisation du potentiel carbone forestier et son inscription dans le processus REDD+. Le projet REDD + Plateau des Guyanes se divise en 3 phases :

1. Inventorier la ressource ;
2. Quantifier les facteurs de déforestation et dégradation forestière ;
3. Modéliser pour une aide à la décision du développement à venir.

Comme expliqué précédemment le gouvernement et les états fédéraux du Brésil ont eu des programmes volontaristes pour l'afforestation et la reforestation. Ceux-ci sont en passe d'évoluer vers **une plus grande intégration des critères de durabilité dans les modèles de développement** et ce en priorisant la replantation de zones déjà dégradées sur la conversion de forêts primaires.

En lien avec ces programmes, lorsqu'un industriel développe un programme/une concession de plantations forestières à vocation biomasse (papier, énergie...), c'est en réalité un véritable **programme d'aménagement de massif qui lui est imposé**. Si ce dernier veut avoir une chance de voir son projet naître, il doit se préoccuper des points suivants:

- Mise en réserve forestière naturelle des zones sensibles, corridors, zone de droit d'usage, ... ;
- Gestion de ces réserves ;
- Développement de projets communautaires (agriculture traditionnelle, marché, tourisme, artisanat) ;
- Emploi local, formation, éducation et santé ;
- Développement de sa propre filière...

Autant d'expériences autour d'une gestion des espaces et un aménagement intégratif des trois piliers du développement durable, qui amène parfois à une labellisation REDD+ comme il est recherché par AMCEL.

V. LES INDICATEURS ÉTUDIÉS

Les impacts environnementaux des plantations biomasse sur l'acceptation sociale, sur l'eau, l'air, le sol et la biodiversité dépendent principalement des conditions préalables à la plantation (du milieu où seront implantées les plantations, du régime hydrique de la région), de l'itinéraire technique mis en œuvre et du mode d'exploitation. En fonction des conditions initiales et d'exploitation, les plantations peuvent générer des impacts environnementaux bénéfiques ou non sur l'eau, le sol, la biodiversité, l'air.

1. ETAT INITIAL

Les caractéristiques de l'environnement dans lequel sont implantées les plantations industrielles sont fondamentales pour l'évaluation qualitative et quantitative des impacts environnementaux générés.

L'état initial du site de plantation peut être décrit selon les paramètres suivants :

- Le milieu d'insertion – Forêt/Savane/Prairie pâturée... ;
- Le régime hydrique – pluviométrie, distance plantation/cours d'eau/nappe phréatique, évaporation ;
- Les conditions géomorphologiques et pédologiques ;
- Les conditions préalables à la plantation (zone dégradée ou non).

Mais aussi sa localisation à l'échelle du bassin versant, la proximité avec les zones d'habitations et d'activités humaines sensibles à la qualité paysagère de leur environnement.

Dans la situation actuelle de cette étude de cadrage préalable pour l'évaluation des impacts des plantations en Guyane, les sites potentiellement dédiés à la plantation ne sont pas définis. Néanmoins, certains milieux apparaissent déjà plus propices que d'autres, de par leurs caractéristiques et contraintes respectives.

A priori, les sites de plantations devraient être localisés au niveau des zones agricoles des documents d'aménagement. Il pourrait donc s'agir de savanes, de zones forestières destinées à la défriche agricole, de zones agricoles exploitées ou d'aires dégradées anciennement exploitées.

La plantation sur savane apparaît difficilement acceptable socialement, voire en termes réglementaires de droit européen s'il s'agit de savanes relativement humides (protection spécifiques aux zones humides). Les savanes représentent quasiment les seuls espaces naturels ouverts et couvrent une aire limitée sur l'ensemble du territoire guyanais. La plantation d'arbres reviendrait à limiter l'expression de ces biotopes avec la biodiversité et les spécificités qui s'y rattachent.

La défriche de forêt primaire directement suivie de plantations sur des terres agricoles est contraire à la politique du Grenelle qui définit sa stratégie par « Produire plus de bois, tout en préservant mieux la biodiversité ». Par ailleurs au vu des dérives au niveau international sur la plantation d'huile de palme ou de productions énergétiques, ce scénario risque de rencontrer des obstacles réglementaires (remplacement de la forêt primaire par des plantations) qui empêcheraient la vente du bois aux centrales de production électrique. Cela dépendra des modalités d'application des futures règles européennes en Guyane.

La plantation sur terres agricoles déjà défrichées depuis relativement longtemps et exploitées est envisageable, notamment dans le cas de la mise en place de systèmes agroforestiers et sylvopastoraux. Dans le cas de la conversion de terres agricoles en terres de grandes plantations sylvicoles, le phénomène de front pionnier qui caractérise une partie de l'agriculture guyanaise pourrait être entretenu voire accentué.

La plantation sur terres agricoles dégradées permettrait de reconstituer un stock carbone sur des espaces agricoles non productifs tout en relançant une activité de production, possible avec certaines essences

forestières pionnières voire fixatrices d'azote. La remise en état de terres dégradées pour une exploitation sylvicole nécessite des investissements en amendement et travaux du sol. D'après les données de « l'expertise ONF littoral » en 2011, il y a en Guyane environ 24 660 ha de milieux naturels dégradés (pas forcément tous agricoles). Cela pourrait également permettre de limiter la dynamique de front pionnier, mais cette activité se heurte à la contrainte de l'accession/récupération du foncier.

Les conditions initiales de plantation les plus probables sont donc l'exploitation de terres dégradées pour la reforestation, la conversion totale ou partielle de terres agricoles et la conversion de forêts naturelles déjà exploitées en plantations.

2. MODES DE PRODUCTION DE BIOMASSE ENERGIE - SCENARIOS ETUDIES

Divers scénarios ont été présentés dans les premiers rapports, relatant à la fois les expériences de plantations biomasse énergie en Guyane, au Brésil et en Colombie. Trois principaux scénarios sont retenus afin d'appréhender leurs effets sur l'environnement, le quatrième (agrosylviculture) n'étant pas retenu pour des questions économiques quel qu'en soit les intérêts écologiques.

1. La valorisation des rémanents d'exploitation du bois en plantations œuvre : il ne s'agit pas à proprement parler de production de biomasse à vocation énergétique, mais plutôt de la valorisation d'un déchet non encore exploité comme source d'énergie. Le milieu initial est et reste une forêt à vocation bois d'œuvre. L'évaluation des effets de la production de biomasse énergie pour ce scénario sera donc limitée.

2. Les plantations dédiées à cycles courts et très courts : les cycles de production et d'exploitation durent moins de 10 ans. Après la coupe, les arbres peuvent être remplacés ou recépés pour relancer un second cycle de production à partir du même matériel (TCR et TTCR). C'est le mode de production qui entraîne le plus de changements entre l'état initial et la plantation énergétique, donc celui dont les effets seront les plus visibles et impactants.

3. Le sylvopastoralisme : des exemples de systèmes sylvopastoraux en rotations à cycles courts vus au Brésil sont présentés dans le rapport d'étude 2. Les arbres sont plantés en lignes simples ou multiples sur des prairies préexistantes. Il s'agit donc d'un mode de production qui conserve partiellement l'état initial.

L'agrosylviculture : elle consiste à l'insertion de cultures annuelles ou pérennes en inter rangs des arbres. Nous n'avons pas rencontré de tels systèmes ni en Guyane ni au Brésil orientés sur la production de biomasse industrielle. Les systèmes agroforestiers au Brésil sont davantage tournés vers la production de bois d'œuvre. La production de bois énergie nécessite du matériel spécifique, notamment pour la récolte. Ce matériel est coûteux et ne peut être amorti que si la surface plantée est suffisamment importante.

Concernant la diversification des vergers avec le bois énergie (donc une forme d'agrosylviculture), les surfaces de vergers en Guyane excèdent rarement les 20 ha et avec souvent des pentes relativement importantes. Avec 200 arbres forestiers par hectare, on arriverait à un total de 4000 arbres, soit l'équivalent de 2,5 ha en plantation TCR (2,5 x 2,5 m). Ce type de système apparaît difficilement rentable et attractif, de même que de cultiver certains arbustes légumineuses à vocation bois énergie avec des cultures maraichères intercalaires.

Ces derniers itinéraires (agrosylviculture et diversification des vergers) ne seront pas pris comme références dans l'évaluation des effets potentiels de la production de biomasse énergie sur l'environnement.

3. RISQUES D'IMPACTS EAU-PLANTE-SOL

Une des critiques fréquemment adressée aux plantations industrielles est leur consommation en eau et l'impact sur l'humidité du sol, les cours d'eau et l'assèchement de la nappe phréatique.

Pour simplifier il faut globalement la même quantité d'eau pour produire 1 kg de bois toutes essences confondues. Ce qui entraîne le réel impact est l'objectif anthropique de la plantation dans un contexte hydrique déficitaire. Effectivement, plus un arbre ou une plantation croît rapidement, plus sa consommation d'eau est importante. Il en va ainsi pour l'eucalyptus qui est utilisé en plantations justement pour cette aptitude dans des itinéraires à courtes rotations.

Les interactions eau-plante-sol-atmosphère sont complexes et de multiples facteurs entrent en jeu au-delà de l'espèce / de la variété observée.

➤ RÉGIME HYDRIQUE

L'impact des plantations sur les nappes phréatiques peut être évalué par l'intermédiaire de paramètres comme l'interception de l'eau par les houppiers, la consommation d'eau et le degré d'atteinte par les racines de la nappe phréatique. Les impacts doivent également être comparés à l'état initial (avant plantation).

Interception

La végétation peut avoir un effet marqué sur la quantité d'eau qui atteint le sol en interceptant une partie de la précipitation par son feuillage, ses branches, son tronc et son écorce. La quantité d'eau interceptée et la perte pour la station font partie des principales caractéristiques qui différencient les divers types de végétation. **Potentiellement, moins il y a d'eau interceptée par les houppiers, plus il y a d'eau disponible pour s'infiltrer dans le sol et recharger les nappes phréatiques. Néanmoins, pour un même sol, moins il y a d'arbre, plus les sols ont tendances à être ruisselant et moins perméables...**

Une étude comparative réalisée sur une période de 7 ans par Almeida et Soares (2003) entre une plantation d'eucalyptus et une forêt ombrophile dense au Brésil (Mata atlantica) indique une interception plus faible par la forêt d'eucalyptus (11%) que par la forêt ombrophile dense (24%).

Poores et Fries (1986) comparent également l'interception de différentes essences en plantations d'âges variables, de forêts naturelles et de végétations herbacées.

Les intensités d'interception pour les différents milieux sont classées comme suit, par ordre décroissant : forêt tropicale dense (Mata Atlantica) > plantation d'eucalyptus de 7 ans > prairie pâturée et savane (Marcos H. F. Vital, 2007).

Finalement, la proportion d'eau interceptée est liée à la fois à l'essence, au mode de culture (densité de plantation) et à l'âge de la plantation. Plus la plantation a des caractéristiques proches d'une forêt naturelle (arbres âgés, plantation assez dense) plus la proportion d'eau interceptée est importante.

Effets sur l'interception.		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme.
L'interception de la pluie et l'infiltration de l'eau dans le sol ne semblent pas à priori notablement différentes s'il y a exportation des rémanents d'exploitation de forêt naturelle ou plantée ou s'ils sont laissés au sol. Cela reste à vérifier.	Considérée sur plusieurs cycles de culture, l'interception d'une plantation à courte rotation sera inférieure à celle de la forêt guyanaise. Les effets sur l'infiltration dépendront de l'état du sol.	L'interception serait plus importante que sur pâturage seul, mais pas de mesure précise à l'heure actuelle.
Effet potentiel mais faible.	Si l'état initial du terrain est dégradé, l'interception augmentée.	Interception augmentée.

Infiltration et ruissellement

La capacité d'infiltration du sol a un impact sur la quantité d'eau pouvant atteindre la nappe phréatique.

Outre les caractéristiques naturelles du sol, le mode d'exploitation de la plantation et la végétation présente auront un impact sur cette capacité d'infiltration. Le ruissellement, phénomène inverse, correspond à l'écoulement à la surface du sol de l'eau issue des précipitations, donc à une perte en eau pour la station considérée. **Il est limité par la présence de troncs, de racines, de végétations basses et de litières.**

Ceci s'accorde avec les observations de Poore et Fries (FAO, 1986), qui notent que le ruissellement sous plantation d'eucalyptus serait accentué, par rapport à une prairie, par la rareté du couvert herbacé en sous-bois, et aurait donc pour conséquence défavorable des débits de crue élevés et des débits d'étiage diminués dans les bassins versants qu'ils occupent.

A ce propos, De la Lama (1982) souligne **l'importance d'un terrassement, ou de l'ouverture de banquettes, dans les plantations en pente pour réduire le ruissellement et augmenter l'infiltration.**

L'implantation d'une couverture herbacée (graminée et/ou légumineuse) tolérante à l'ombre peut avoir des effets positifs sous ces plantations dédiées.

En ce sens, le sylvopastoralisme où alternent bandes herbacées et lignes d'arbres peut également permettre de réduire le ruissellement par rapport à une plantation dense sans plantes de couverture.

Effets sur l'infiltration et le ruissellement.		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme.
Les rémanents d'exploitation laissés au sol constituent une protection pour le sol et un apport de MO structurante. S'ils sont prélevés (hors souches) le risque de ruissellement est augmenté.	L'absence de couverture herbeuse ne permet pas de freiner efficacement le ruissellement. Les travaux du sol et le passage des engins d'exploitation peuvent compacter le sol, augmenter la battance et donc le risque de ruissellement.	La présence d'un couvert végétal herbacé permanent limite le ruissellement par rapport à une plantation dense.
=> Effet brut potentiellement négatif.	=> Effet brut potentiellement négatif qui peut être réduit avec des plantes de couvertures.	=> Effet brut potentiellement négatif mais bien moindre si on le compare aux plantations industrielles.



Source : SIMA-PECAT & H2E - Aménagement de banquettes sur prairies et plantation d'eucalyptus, Brésil.

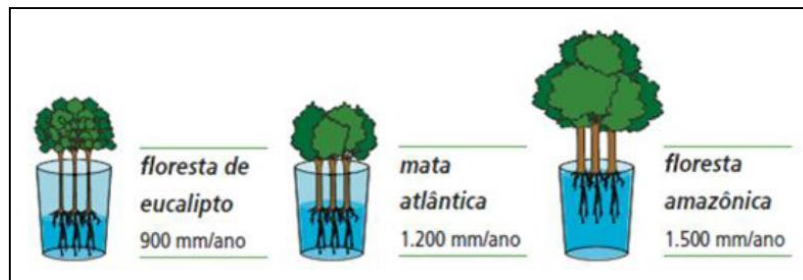
Consommation en eau et recharge de la nappe phréatique

D'après les références brésiliennes et congolaises, les besoins en eau d'une plantation d'eucalyptus seraient compris entre 750 et 1500mm/an (Foelkel, 2005 ; AFD, 2011 et Lima, 1990). En deçà de cette quantité d'eau accessible dans le sol, une concurrence hydrique peut apparaître avec les autres végétaux, et les réserves en eau du sol s'épuisent.

Au sein des zones guyanaises avec des précipitations moyennes annuelles entre 1700 et 4000 mm, la plupart des bassins potentiels de productions pourraient être relativement peu concernées par cette problématique de concurrence hydrique (relativement aux autres zones géographiques de culture de l'eucalyptus) même en prenant en compte les quantités d'eau interceptées par les houppiers.

Dans l'Ouest, où des précipitations peuvent être inférieures quelquefois à 1700-2500 mm, la question mérite d'être posée. La saisonnalité des précipitations doit également être prise en considération, notamment les périodes potentielles de déficit hydrique en saison sèche, mais il n'existe pas encore de références locales précises à ce sujet.

Consommation annuelle d'eau par types de forêt d'après des mesures effectuées au Brésil :



SOURCE : VILAS BOAS ET AL. (2011)

Une étude comparative réalisée sur une période de 7 ans par Almeida et Soares (2003) entre une plantation d'eucalyptus et une forêt ombrophile dense (Mata atlantica) indique que lors des premiers stades de croissance (jusqu'à 4 à 6 ans), les plantations d'eucalyptus peuvent consommer moins d'eau qu'une forêt ombrophile dense mature.

Par contre, d'après les études relatives à la recharge en eau des sols et des aquifères, réalisées par Karschon et Heth (1967) la consommation d'eau de certaines végétation herbacées est inférieure à la consommation d'eau d'une plantation d'eucalyptus.

L'effet d'une plantation d'arbres (et à fortiori d'eucalyptus) sur la recharge en eau des sols et des nappes phréatiques est donc aussi lié à l'état initial du milieu. Reste que les hypothèses seront particulièrement dépendantes de l'état initial du sol, de sa capacité de rétention et aussi des modalités de travail du sol. Il sera alors nécessaire d'émettre des premières hypothèses par bassins de production et même par ensemble de parcelles aux caractéristiques hydro géomorphologiques analogues et ce en fonction des 4 paramètres que sont la pluviométrie, l'interception, le ruissellement et la consommation d'eau.

Les indicateurs de pluviométrie, de ruissellement et d'infiltration, paramètres importants, ont fait l'objet d'études particulières par H2E et sont utilisés comme paramètres de calage des débits arrivant aux exutoires notamment pour dimensionner les systèmes limitant le ruissellement et l'érosion.

Les données bibliographiques du programme ECEREX et du guide d'évaluation H2E peuvent être utilisés pour l'approfondissement des évaluations d'impacts sur l'hydrologie quantitative et sur l'érosion.

L'étude H2E est un guide pour l'estimation des débits caractéristiques sur les bassins versants non jaugés¹.

D'autres paramètres peuvent entrer en jeu :

- Paramètres du milieu : profondeur et structure du sol (intégrés généralement dans la description du coefficient de ruissellement) ; profondeur de la nappe phréatique...
- Paramètres de la plantation : profondeur d'enracinement des arbres, localisation sur le bassin versant (amont, aval de zone agricole ou autre), étendue de la plantation par rapport au bassin versant. Si les arbres choisis pour la plantation ont un enracinement plutôt superficiel, ils peuvent avoir tendance à assécher le sol en période de déficit hydrique (saison sèche) car ils prélèvent l'eau dont ils ont besoin pour croître dans les couches supérieures du sol et entrent ainsi en concurrence avec la végétation de

¹ Téléchargeable sur la page internet DEAL : <http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/hydrologie-a585.html> ou sur le site du Comité de Bassin de Guyane à l'adresse http://www.bassin-guyane.fr/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=28.

sous-bois ou les herbacées utilisées pour le pâturage. Ce phénomène a pu être observé sur des plantations d'Eucalyptus.

Almeida et Soares (2003) affirment que le régime de l'eau dans les plantations d'eucalyptus ne diffère pas systématiquement du régime de l'eau dans les zones de forêt ombrophile dense, sauf en période de sécheresse accrue, lorsque l'eucalyptus utilise les réserves d'eau situées à la surface du sol, tandis que la forêt ombrophile dense utilise des réserves situées à des niveaux différents et en partie plus profondes.

L'effet de la plantation d'arbres sur le régime hydrique des sols et des nappes phréatiques peut donc être maîtrisé et choisi en fonction des contraintes environnementales et humaines.

L'évaluation des besoins en eau peut être réalisée à l'échelle de la parcelle (concurrence hydrique directe entre les végétaux) et à l'échelle du bassin versant (concurrence hydrique entre la plantation et d'autres activités humaines et écosystèmes) grâce à la connaissance des différents paramètres abordés dans ce paragraphe.

En outre, les impacts sur le cycle de l'eau d'une plantation varient fortement au cours du temps entre la période de croissance des arbres et l'exploitation de la parcelle où les conditions sont complètement modifiées. Les variations les plus radicales de niveau et quantité d'eau en aval des plantations sont particulièrement observables dans la seconde année après la coupe à blanc.

Effets sur la consommation en eau et le rechargement de la nappe phréatique.		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme.
Pas ou peu de données. A priori, différence peu significative avec une exploitation sans prélèvement des rémanents.	Variations cycliques du niveau de prélèvement en eau dans le sol et la nappe en fonction de la rotation culturale.	Régulation de l'eau dans le sol. Risque potentiel de concurrence hydrique en saison sèche.
Effet inconnu, considéré non significatif.	Effets variés et variables, à apprécier au cas par cas à différentes échelles de temps et d'espace.	Effet potentiellement positif en saison des pluies, effet négatif possible avec certaines essences si la sécheresse est trop marquée dans certains bassins de Guyane

Effizienz de la production de biomasse

Dans l'évaluation risques / bénéfiques de la plantation d'arbres à vocation énergétique, un autre paramètre peut être pris en considération, il s'agit de **l'efficacité de la production de biomasse**.

C'est-à-dire le rapport entre la quantité d'eau consommée (en L.) et la biomasse produite (en kg) par une espèce végétale donnée, dans des conditions pédoclimatiques et de fertilisation données.

L'IPEF (Institut de Recherche et d'Etudes Forestières du Brésil) a évalué cette efficacité pour différentes cultures. Les principaux résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

A consommation d'eau égale, cette mesure permettrait de pouvoir choisir l'essence la plus productive pour une station donnée. Elle pourrait notamment intervenir dans le choix des essences endémiques et

exotiques à mettre en culture en Guyane pour la production de bois-énergie. Toutefois, il est important de rappeler qu'en Guyane nous bénéficions d'un régime excédentaire d'eau.

Consommation d'eau pour différentes cultures

culture	consommation d'eau annuelle (mm)
canne à sucre	100-2000
caféier	800-1200
citronnier	600-1200
maïs	400-800
haricot	300-600
eucalyptus	800-1200

Efficiencie de l'utilisation de l'eau

culture	efficiencie de l'utilisation de l'eau (L/kg de matière)
maïs	1000
canne à sucre	500
eucalyptus	350

Source: IPEF

Acidification de l'eau

La litière composée des feuilles mortes déposées par les eucalyptus peut, en se décomposant, entraîner une acidification de l'eau. Cependant, cet effet est lui-même lié à l'espèce d'Eucalyptus utilisée. Lima et O' Loughlin (1986) observent un pH plus élevé sous plantation d'E. diversicolor que E. wandoo et E. marginata. Un effet identique est à noter sous la plupart des résineux comme les pins.

Cependant cet effet est à relier avec l'acidité initiale du milieu. Ainsi, sur milieu acide, la litière (notamment celle produite par l'eucalyptus) peut avoir pour effet d'augmenter le pH.

Tout dépend donc de l'état initial du cours d'eau (débit d'étiage, pH,...), de l'espèce choisie, de la densité de plantation et du pourcentage de surfaces d'eucalyptus couvrant le bassin versant.

➤ L'ÉROSION

L'érosion du sol est la conséquence de l'entraînement des particules de sol (minérales et organiques) par l'écoulement de l'eau en surface (ruissellement) ou par le vent. Elle peut être plus ou moins importante selon :

- ⇒ **la couverture du sol (couvert végétal herbacé, arbustif, forestier naturel, ...)** ;
- ⇒ **selon le type de sol ;**
- ⇒ **selon la pente ;**
- ⇒ **le régime pluviométrique ;**
- ⇒ **peut être accentuée par certaines actions anthropiques (mise à nu du sol, passages répétés d'engins qui entraînent des perturbations de la structure du sol.**

La capacité d'un végétal à lutter contre l'érosion est principalement liée :

- ⇒ **au développement de son système racinaire ;**
- ⇒ **à la protection qu'il apporte au sol par son feuillage ;**
- ⇒ **à la litière qu'il produit, limitant les agressions directes du soleil et de la pluie ;**
- ⇒ **ainsi qu'à sa durée de vie.**

L'érosion des sols d'un milieu est en outre dépendante :

- ⇒ **de la quantité d'eau atteignant le sol ;**
- ⇒ **de l'inclinaison du terrain et des caractéristiques du sol (porosité, capacité d'absorption de l'eau, litière présente lors de la pluie...);**
- ⇒ **de l'état initial du milieu.**

L'érosion est accentuée par la récolte ou le brûlage de la litière, mais atténuée par certains aménagements micro hydrauliques du terrain, comme les banquettes qui limitent le ruissellement et favorisent l'infiltration.

Effets sur l'érosion.		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme.
Le prélèvement des rémanents diminue la protection du sol après exploitation, donc favorise le risque d'érosion, mais le risque résiduel pourrait être acceptable en cas de préservation majoritaire du couvert arboré.	La litière peut limiter l'érosion. La rareté de la végétation de sous-bois a tendance à l'accroître, sauf si des plantes de couverture tolérantes à l'ombrage sont implantées.	Les arbres peuvent favoriser la fixation du sol grâce à leur système racinaire.
Effet négatif potentiellement faible.	Etat initial = terre agricole => par rapport à des cultures à cycle court où le sol est travaillé régulièrement, l'effet sera potentiellement positif, mais pas par rapport à un verger avec plantes de couvertures pérennes.	Effet positif potentiel en comparaison avec l'état initial du pâturage et avec un calcul sur plusieurs années, mais effet négatif en comparaison à un état initial forestier naturel.

➤ QUALITÉ ET FERTILITÉ DES SOLS

Les effets des plantations sur la qualité et la fertilité des sols sont différents s'il y a exploitation ou non. L'évaluation de l'effet des plantations sur les nutriments disponibles dans le sol devra prendre en compte l'exploitation du bois.

Effets directs sur le rythme de prélèvement d'éléments nutritifs

La quantité d'éléments nutritifs et le rythme auquel ils sont directement exportés dans la biomasse dépendent de l'espèce plantée, de la durée de révolution de la plantation et du degré d'utilisation de la biomasse (biomasse au-dessus du sol ou souche, racines, feuilles...)

Le tableau suivant présente la répartition des éléments nutritifs dans différentes parties de l'arbre. Le degré d'utilisation de ces différentes parties, dépendant ainsi du mode d'exploitation de la plantation, entrainera une perte plus ou moins importante des éléments nutritifs.

Accumulation des éléments nutritifs dans les différentes parties de l'eucalyptus en kg/ha

	<i>Azote</i>	<i>Potassium</i>	<i>Calcium</i>	<i>Magnésium</i>	<i>Phosphore</i>
<i>Feuilles</i>	80-200	30-100	25-45	10-20	5-10
<i>Ecorce</i>	20-40	30-120	150-400	25-45	5-12
<i>Tronc</i>	100-250	150-400	60-250	30-80	10-40
<i>Racines</i>	25-80	15-35	15-35	15-35	1-4
<i>Branches</i>	10-30	25-75	30-65	10-20	2-8

Source : Foelkel (2005)

Restitution des nutriments :

Les informations relatives à la restitution des nutriments en plantation sont extraites d'études sur l'eucalyptus car c'est l'essence la mieux étudiée.

Dans les plantations d'eucalyptus, VITAL (2007) observe qu'à partir de 1 ou 2 ans les feuilles et brindilles tombent, et à partir de 3 à 4 ans, l'écorce commence également à tomber. S'établit ainsi un processus de décomposition, libération et absorption des nutriments dans un cycle biologique complet. D'après Foelkel (2005), la restitution de nutriments au sol est de **60 à 70% de l'azote**, de **35 à 60% du phosphore**, de **55 à 80% du potassium**, de **40 à 60% du calcium** et entre **55 et 70% du magnésium** dans leurs conditions d'essais.

D'après Mullette et al. (1974), en sols dégradés ou très appauvris, les Eucalyptus (*E. gummifera*) peuvent mobiliser et utiliser les phosphates non solubles et améliorer la fertilité et la structure superficielle du sol par la constitution d'une litière.

Laclau et al., (2010) mettent également en évidence la capacité des eucalyptus à pousser sur des sols de très faible fertilité, grâce à un recyclage intense des éléments minéraux. Dans ce cas, les eucalyptus jouent un rôle de filtre très efficace, réduisant les pertes de nutriments par lessivage profond à des quantités extrêmement faibles, de l'ordre de quelques kg/ha/an.

Prélèvement des nutriments :

L'augmentation de la perte d'éléments nutritifs entre exploitation classique (seulement le tronc) et récolte d'arbres entiers est **maximum lors de l'exploitation de jeunes peuplements** (exploitation à très courte durée de révolution) dans lesquels une proportion relativement plus importante des éléments nutritifs de la biomasse aérienne est emmagasinée dans les houppiers. Par ailleurs les arbres de jeune âge n'ont pas encore commencé à restituer au sol.

Le raccourcissement de la durée de révolution accroît également le rythme d'exportation des éléments nutritifs. Pour les plantations où le degré d'utilisation de l'arbre est augmenté et le rythme de défriche diminué le rendement d'utilisation des nutriments est diminué (accroissement du coût nutritionnel) par rapport aux techniques traditionnelles (récolte des grumes et temps de révolution plus long).

Dans le cas des révolutions de 7 ans ou moins, l'eucalyptus pourrait ne pas avoir d'avantage nutritionnel (par rapport à l'exportation du Phosphore dans la biomasse) par rapport aux autres essences, et

entraîner des prélèvements importants d'éléments nutritifs dans les réserves du sol (ex : 5Kg/ha/an de Phosphore stocké dans le bois), appauvrissant ainsi la ressource. Des apports d'engrais sont généralement effectués pour compenser ces exportations.

Effets sur la disponibilité en nutriments dans le sol.		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme.
Une partie des éléments minéraux, notamment le calcium se trouvent dans les rémanents. Leur exportation conduit à un appauvrissement du sol.	Dans le cas de l'eucalyptus, appauvrissement du sol. La restitution des rémanents ne suffit pas à équilibrer les exportations.	Même effet que dans les plantations pures mais de moindre ampleur. Variable selon les essences.
Effet potentiellement négatif.	Effet potentiellement négatif surtout en TTCR mais corrigeable avec des apports d'engrais minéraux ou organiques dans la mesure où les conséquences sont acceptables pour l'hydrologie qualitative des milieux aquatiques guyanais.	Effet négatif potentiel mais potentiellement de moindre ampleur que la plantation dédiée à courte révolution.

Effets indirects liés à la coupe, la préparation du terrain pour la replantation et le développement du nouveau peuplement

Les courtes révolutions augmentent la fréquence de perturbations des terrains liées à la coupe et à la préparation du sol pour la replantation. De plus, la durée relative des périodes où le terrain n'est pas entièrement occupé par un couvert forestier, assurant une protection partielle du sol, s'accroît également.

Les perturbations des terrains entraînent une perte directe de nutriments, mais également une augmentation du risque de perte indirecte de nutriments causées par lessivage, érosion, transfert à l'atmosphère (en cas de brûlis), redistribution indésirable des éléments nutritifs et tassement du sol.

L'érosion des sols (cf. partie érosion) peut entraîner une importante perte d'éléments nutritifs notamment au niveau des couches superficielles, c'est en effet la partie la plus riche en éléments nutritifs (et la mieux structurée) qui risque d'être emportée par le ruissellement des eaux de pluie.

La perturbation du sol et de la litière peuvent entraîner le **lessivage** des nutriments (N et cations en majorité). Les pertes par lessivage après coupe à blanc peuvent ainsi entraîner des pertes de Ca et N supérieures de 30 à 50 % par rapport à une coupe sélective (selon intensité du prélèvement). Les effets du raccourcissement de la révolution sur le lessivage n'ont pas été étudiés. Il est cependant possible de s'attendre à une augmentation du taux de perte d'éléments nutritifs en raison de la fréquence plus grande des perturbations et de la proportion accrue du temps durant lequel le terrain n'est pas couvert.

Le brûlage des rémanents peut entraîner des pertes en éléments, notamment N, P et S qui peuvent être égales voire supérieures aux quantités exportées dans la biomasse récoltée. La combustion entraîne la perte de certains éléments volatiles, contenus notamment dans la litière et l'horizon superficiel du sol (Porre et Fries, 1985).

L'andainage qui est souvent utilisé pour la préparation des sites peut entraîner un décapage du sol avec des effets nuisibles sur la nutrition et la croissance ultérieure des arbres.

Le degré de perturbation et de tassement du sol lors de la récolte et la préparation du site est fortement variable. Ils dépendent du sol et du mode d'exploitation, mais globalement, une courte durée de révolution augmente le risque de pertes.

Plus les perturbations du milieu sont importantes et régulières (circulation d'engins, travail du sol, mise à nu du sol) plus le risque de pertes en nutriments est élevé. De même, plus les exportations de matière organique sont importantes plus la perte en nutriments est élevée.

➤ RISQUES CHIMIQUES

Les risques de pollution chimique sont liés à la dispersion d'éléments dans l'environnement. Cette dispersion peut être induite par le ruissellement entraînant les engrais et pesticides hors de la zone d'action ciblée, leur lessivage dans le sol, et un dosage inapproprié des apports. Plus l'érosion et le ruissellement sont importants plus les risques de dispersion augmentent. Les risques chimiques sont donc liés aux pratiques et aux conditions du milieu (nature du sol et du couvert).

Effets sur le risque de pollution chimique.		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme.
Sol moins protégé, ruissellement facilité.	Perturbations régulières du milieu, augmentation du risque de ruissellement, augmentation du risque chimique.	Potentiellement plus faible perturbation du milieu que le TCR qui est plus gourmand en intrants.
Risque d'effet négatif. Dépend des pratiques initiales d'exploitation et de la pente.	Sur terrain dégradé : effet potentiellement négatif. Sur terre agricole : l'effet dépend des pratiques initiales et des pratiques modifiées de fertilisation et d'utilisation des pesticides.	Effet probablement faible mais dépendant des pratiques de fertilisation et d'utilisation des pesticides.

4. BIODIVERSITE

L'effet des plantations sur le milieu dépend du type de milieu initial, du type de plantation choisi et du mode d'exploitation. Les caractéristiques de l'environnement dans lequel sont implantées les plantations industrielles sont fondamentales pour l'évaluation qualitative et quantitative des impacts environnementaux générés sur la biodiversité de la flore. Dans un écosystème donné, chaque espèce animale et végétale occupe naturellement une niche écologique qui lui permet de se développer, se nourrir, se reproduire en cohabitation avec les autres espèces au sein d'un même milieu. Si la diversité des ressources est limitée, il en va de même pour les espèces animales et végétales qui pourront l'occuper.

La monoculture n'est pas en mesure de fournir les mêmes avantages pour la faune et la flore qu'une forêt naturelle. Cependant, de par leurs caractéristiques forestières (pérennité relative), les plantations industrielles sont susceptibles d'offrir une plus grande diversité faunistique et floristique que d'autres formes de monocultures notamment non forestières. En effet, globalement, les plantations présenteront une variété floristique plus faible que les forêts naturelles, que certaines terres dégradées en situation de repousse

forestière auxquelles elles se substituent, et potentiellement plus forte que les pâturages entretenus, les champs de cultures agricoles autres, ou encore certaines terres dégradées notamment sur kaolin.

Un point mis en avant par de nombreux auteurs est que l'impact sur la faune et la flore croît avec la taille des plantations et la brièveté du cycle de production. Pour autant, la biodiversité faunistique et floristique des plantations industrielles n'est pas nulle, et peut constituer une amélioration par rapport au milieu initial d'implantation s'il s'agissait de zones fortement dégradées ou de zones anciennement cultivées ou pâturées intensivement.

➤ FLORE

Dans des conditions pédoclimatiques contraignantes (déficit hydrique, pauvreté du sol), l'eucalyptus comme d'autres essences pionnières à croissance rapide, s'avère très concurrentiel vis-à-vis de la flore locale et tend à la dominer. La végétation de sous-bois y est donc souvent rare. En outre Davidson (1985) observe également des cas de concurrence hydrique et minérale entre Eucalyptus déjà développés et jeunes spécimens.

De façon générale, la récolte du bois entraîne des dégâts pour la flore spontanée, mais on constate également l'apparition d'espèces différentes (héliophiles) après ouverture de l'espace (Poggiani, 1996).

Les moyens envisagés pour pallier cette perte de biodiversité floristique dans les plantations sont l'organisation des plantations en mosaïque avec des parcelles de végétation naturelle, la limitation des surfaces de plantation du même âge (intercaler des parcelles à différents stades d'exploitation pour éviter de grandes coupes à blanc) et la favorisation du développement de la végétation de sous-bois par un plus grand espacement entre les arbres (Davidson, 1985). Cependant cette dernière pratique semble difficilement compatible avec des rotations de 5 à 7 ans car les adventices sont fortement concurrentielles des jeunes plants (notamment sur eucalyptus) et généralement éliminées chimiquement ou mécaniquement. En outre, la densité du feuillage des arbres en plantation influe sur la pénétration de la lumière jusqu'au sol, et ainsi sur le développement d'une végétation de sous-bois.

Effets sur la biodiversité floristique.		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme.
–	Amélioration de la biodiversité par rapport à certaines parcelles agricoles, des pâtures et des terres fortement dégradées.	Amélioration de la biodiversité par rapport à une prairie pâturée.
Effet peu connu.	Effet potentiellement positif sur les situations précédentes. Effet négatif si état initial forestier ou para forestier.	Effet potentiellement positif.

➤ FAUNE ET AVIFAUNE

Davidson (1985) affirme qu'une plantation en monoculture n'offrira jamais la même diversité de produits et de bénéfices qu'une forêt native. Ainsi la substitution d'un couvert naturel généralement constitué d'une diversité d'espèces (au moins en milieu tropical humide) par une culture unique, qu'elle soit endémique ou exotique, est dans la majorité des cas une pratique qui nuit à la biodiversité. Cette analyse s'accorde avec celle de Poore et Fries (1985) qui affirment que les forêts composées d'espèces exotiques fournissent une moindre variété d'aliments, et de ce fait supportent une moindre diversité d'herbivores que les couvertures végétales auxquelles elles se substituent. Ainsi, les forêts plantées d'espèces exotiques conduisent à une relative uniformisation de l'écosystème par la prédominance d'une unique espèce végétale. De plus ces plantations coupées jeunes ne peuvent recréer les habitats de certaines espèces se développant sur des arbres matures ou morts.

Cependant, les reboisements en monocultures peuvent abriter une faune variée si des techniques adéquates sont mises en œuvre, comme la préservation de portions de végétation naturelle (corridors écologiques), plantation d'arbres fruitiers, arbustes et graminées pouvant permettre à la faune sylvestre de s'alimenter au long de l'année (Almeida, 1979). **Ces techniques visent à recréer une diversité et une hétérogénéité dans l'espace cultivé, pour maintenir un certain niveau de biodiversité.**

Effets sur la biodiversité faunistique		
Valorisation des rémanents d'exploitation.	Plantation dédiée à courte rotation.	Sylvopastoralisme
Diminution de l'activité biologique de la faune du sol par diminution des ressources.	Les perturbations régulières du milieu nuisent à l'installation de la faune. L'effet dépend de la surface de plantation. plus le milieu est hétérogène plus il est favorable pour la faune. Les espèces endémiques sont plus favorables que les exotiques.	Les arbres plantés augmentent la biodiversité floristique et participent à l'hétérogénéité du milieu.
Effet négatif potentiel.	Dans la majeure partie des situations effet négatifs forts. Cependant sur milieu initialement fortement dégradé ou sur certaines terres agricoles, l'effet de la plantation sur la biodiversité faunistique peut tout de même être positif.	Effet potentiel positif.

➤ CORRIDORS BIOLOGIQUES

Définitions :

Déoulant des concepts et du vocabulaire de l'écologie du paysage, un corridor est un élément linéaire du paysage reliant des habitats -les taches -et favorisant les flux entre ces habitats, au sein d'un environnement plutôt défavorable -la matrice (Beier et Noss, 1998). Les corridors sont très importants pour les espèces dont le domaine vital dépasse la taille moyenne des taches ou pour celles dont la survie dépend d'un déplacement quotidien ou saisonnier entre habitats (corridors «écologiques »).

À une autre échelle de temps, les corridors servent à la dispersion des espèces et aux échanges génétiques entre populations (corridors « biologiques ») » (BERGES et al.).

Dans le cas des plantations d'arbres, le corridor biologique est une bande de végétation continue ou quasi-continue qui relie différents habitats naturels, permettant la mobilité des espèces animales.

Les corridors correspondent à une stratégie de conservation d'habitats fragmentés par les activités anthropiques (pâturage, agriculture, sylviculture entre autres) en les reliant les uns aux autres. Ils doivent ainsi permettre une meilleure mobilité génétique entre différents fragments de forêt (ou autres) (VITAL, 2007).

D'après P. JOLY, les corridors biologiques sont une réponse des aménageurs à la fragmentation des habitats des espèces animales et végétales par le maintien ou la création d'interconnexions entre des habitats favorables. Il définit également un corridor biologique comme un habitat moins défavorable que ceux qui l'entourent en termes de survie et de facilité de déplacement.

Dans la littérature concernant la culture des eucalyptus, la préservation de corridors biologiques est envisagée et utilisée dans le but de réduire l'impact des plantations monospécifiques sur la biodiversité floristique et faunistique. Ainsi Davidson (1985) conseille des plantations en mosaïque, par blocs de 50 à 100 ha séparés par des corridors écologiques, c'est-à-dire des bandes de forêt naturelle connectant des espaces naturels entre eux et permettant la circulation des animaux. Cependant, il constate que la dimension des espaces naturels résiduels influe fortement sur le niveau de biodiversité animale.

D'autres solutions de préservation de la biodiversité sont proposées, comme l'augmentation des espaces entre les arbres, qui peut également avoir un effet positif (Davidson, 1985) sur la diversité floristique, et par voie de conséquence, sur la diversité faunistique, mais n'est pas forcément intéressante pour la production de bois.

Pour Cannel (1999), un compromis entre la maximisation de la production de volume de bois et la protection de la diversité de la faune est nécessaire.

Dans la définition législative française des corridors écologiques (GRENELLE de l'Environnement), on distingue les trames vertes et les trames bleues (continuités terrestres et aquatiques des milieux) (Centre de Ressources Trame verte et Bleue). Les ripisylves font partie des milieux sensibles et considérés comme prioritaires dans la politique de conservation et de protection de la biodiversité.

A l'heure actuelle dans le cadre des BCAE (Bonnes Conditions Agricoles et environnementales) imposées aux agriculteurs sur la conditionnalité des aides, les ripisylves ne sont pas obligatoirement préservées en Guyane. Des travaux sont en cours pour déterminer les modalités de protection de ces milieux (DEAL et DAAF).

La réglementation liée à la certification FSC pour les plantations (cf. AMCEL) implique la préservation des ripisylves et la plantation en mosaïque d'âges. Elle implique également l'abandon du brûlis.

➤ **INVASIBILITE DES ESSENCES UTILISEES**

Certaines espèces exotiques ont déjà été introduites en Guyane pour leur capacité d'adaptation à des sols dégradés et leur croissance rapide. Néanmoins, certaines de ces espèces à caractère pionnier se sont avérées nuisibles pour certains écosystèmes de par leur caractère envahissant.

L'*Acacia mangium*, espèce à croissance rapide et à PCI élevé présente un potentiel intéressant pour la production d'énergie. Cependant, son introduction sur le territoire guyanais pour la revégétalisation des sites miniers a entraîné une dispersion et une expansion incontrôlée de l'espèce, notamment sur des savanes et des pâtures, qui font qu'elle est maintenant considérée comme espèce invasive par l'UICN.

Au Brésil les opinions divergent à ce sujet. Certains chercheurs du CIRAD et notamment M. Bouillet, spécialiste de l'Eucalyptus à l'ESALQ, continuent à prôner l'*Acacia mangium* comme espèce industrielle par excellence pour la production de biomasse et la recommande aux entreprises de plantations. L'entreprise

AMCEL (Etat de l'Amapa limitrophe de la Guyane) a ainsi entrepris des essais de plantations associées Eucalyptus-Acacia mangium avec plusieurs objectifs : améliorer la biodiversité des plantations et améliorer la fertilité naturelle du sol par la capacité symbiotique de fixation de l'azote atmosphérique de l'Acacia (pour réduire à terme les apports azotés). Ces essais ont été mis en place dans le cadre de la certification FSC.

Sur le plan technologique, l'Acacia mangium s'est avéré beaucoup plus difficile à traiter que l'eucalyptus (écorce difficile à couper par les machines forestières entraînant des bourrages fréquents, bois dur et cassant entraînant une usure rapide des lames et des machines de trituration).

Sur le plan sylvicole, l'acacia s'est développé au détriment des eucalyptus en assimilant les engrais apportés, et s'est répandu par la dispersion des semences dans le reste des plantations. Les ingénieurs forestiers de l'entreprise AMCEL déconseillant fortement l'utilisation de l'Acacia mangium en plantation, il semble en effet prudent de suivre leurs recommandations en adéquation avec les mises en garde récentes de l'étude commandée par la DEAL sur la situation de cette espèce pour la Guyane.

Il est aujourd'hui considéré comme économiquement nuisible par l'industriel AMCEL qui cherche vainement à s'en débarrasser. Le risque d'envahissement et le risque économique font que cette espèce est à éviter.

L'eucalyptus en plantations industrielles reste très controversé dans l'opinion publique et envisager son utilisation en Guyane relèvera premièrement de choix politiques et sociétaux.

Le *Sclerolobium paniculatum* (Tachi-branco), essence d'Amazonie brésilienne étudiée depuis plusieurs années est perçue par certains chercheurs de l'Embrapa, notamment M. Delman Gonçalves (chercheur du département forêt), comme l'espèce native amazonienne (mais pas forcément guyanaise) la plus prometteuse en plantation énergétique. Cependant, les résultats de croissances et de conformation des arbres sont, à l'heure actuelle, incomparables avec l'Eucalyptus qui domine le marché brésilien. Néanmoins, si des travaux de sélection sont entrepris, cette essence pourrait présenter un intérêt pour la Guyane, car elle est bien adaptée au climat et présente un PCI intéressant.

Le *pin caraïbes* (*Pinus caribaeae*), essence à croissance rapide surtout utilisée pour la production de cellulose destinée à l'industrie papetière a été plantée en Guyane dans les années 80. Les plantations n'ont pas été exploitées mais il n'a été constaté aucune dispersion de l'espèce dans l'environnement. Son caractère invasif est donc à priori exclu en Guyane.

5. BIODIVERSITE, PAYSAGE, CHANGEMENT D'ECHELLE ET AMENAGEMENT DES TERRITOIRES

Les plantations industrielles tropicales souffrent d'une image négative relative à leur diversité biologique. Une représentation univoque paraît néanmoins abusive dans la mesure où l'on s'adresse alors à des modèles de référence, des échelles, des contextes et des objectifs qui peuvent être très divers. Il convient de clarifier les processus agissant, à un niveau d'organisation du vivant qui leur est souvent spécifique, sur la biodiversité des plantations d'eucalyptus par exemple.

Trois niveaux principaux sont à distinguer : la parcelle de plantation, le paysage environnant, la région. D'après l'approche hiérarchique, il paraît avantageux que l'ensemble des critères, indicateurs et vérifications identifiées pour une sylviculture durable des plantations industrielles soient également appliqués selon de tels niveaux d'organisation. Mais en amont d'une telle démarche, il importe d'explicitier l'ensemble des attentes sociales dévolues aux plantations industrielles, de manière à orienter convenablement les techniques retenues, les pratiques sylvicoles mises en œuvre, et les modes de gestion de tels peuplements.

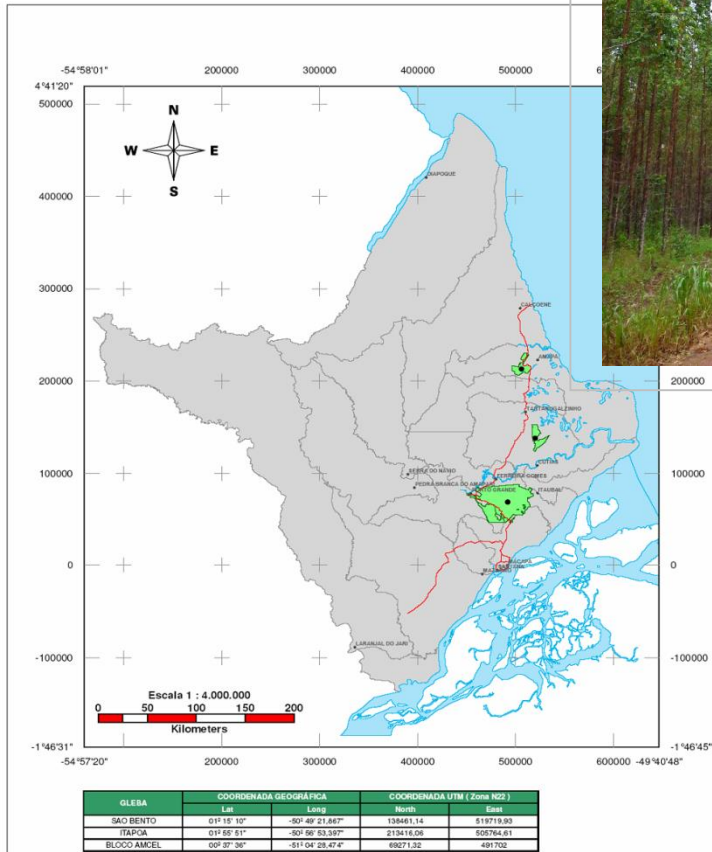
Les plantations industrielles mono-spécifiques revêtent également une dimension culturelle exacerbant parfois des craintes latentes. L'intrusion omniprésente de cet arbre dans les paysages anthropogènes tropicaux vient bousculer une représentation idéale de la sylviculture où s'harmonisent la valorisation de l'espace, l'esthétique paysagère, le foncier, l'emploi et la filière bois. C'est cependant précisément sur le terrain de la biodiversité que s'est aujourd'hui cristallisée la polémique sur les conséquences socio-environnementales.

L'écologie ne pouvant apaiser seule une controverse débordant aussi largement de son champs, il s'agirait alors d'abord d'expliquer clairement et précisément les effets de cette sylviculture sur la biodiversité et de proposer des modèles moins impactant (plantation mixte, patchwork, corridor, trame verte bleue...) et/ou des schémas compensatoires, processus d'innovation susceptible d'être acceptés socialement.

Puis, il s'agirait d'adopter une approche sociologique par enquête préalable des motifs de la controverse touchant notamment l'eucalyptus, de présenter ensuite les évaluations d'impacts et mesures de corrections citées précédemment, puis de refaire les enquêtes finales auprès des mêmes personnes afin d'évaluer les potentiels changements concrets ou non de perception et d'analyser les motivations et arguments de la polémique.

H2E a déjà réalisé des études des motivations ou entrave au processus sociologique d'innovation de la diversification forestière des pratiques agricoles au sein d'un mémoire de sociologie du Master Communication et Médiation Scientifique de l'ESPE Guyane².

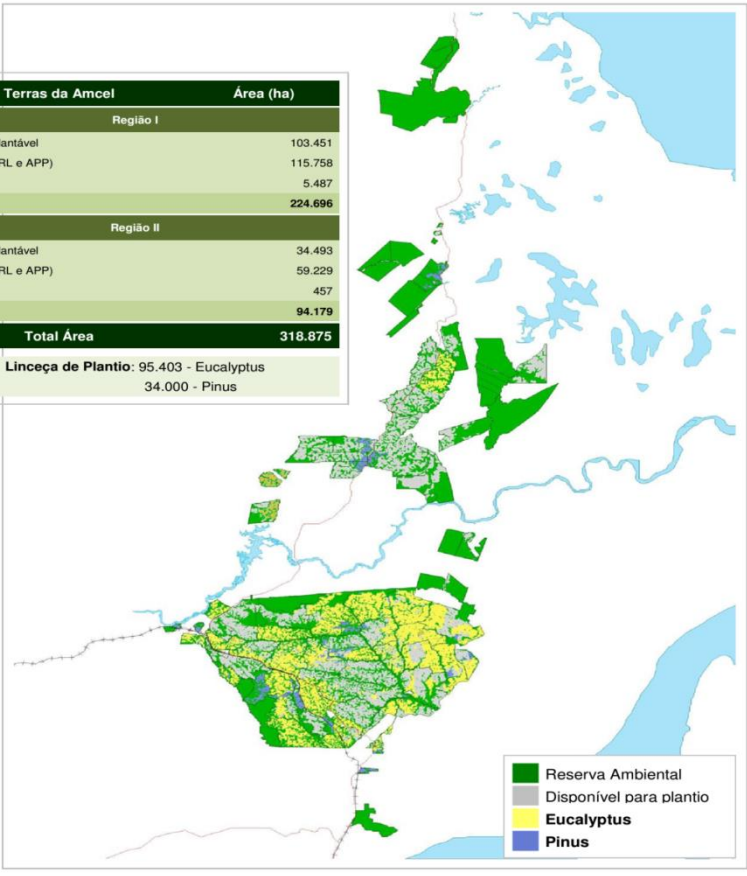
² <http://agroforbio1.h2eguyane.org>



Legenda

- Pontos Coordenadas
- Rodovia Federal
- Amcel
- Municípios

Terras da Amcel	Área (ha)
Região I	
Área Total Plantável	103.451
Reservas (ARL e APP)	115.758
Outros	5.487
Total	224.696
Região II	
Área Total Plantável	34.493
Reservas (ARL e APP)	59.229
Outros	457
Total	94.179
Total Área	318.875
Linceça de Plantio: 95.403 - Eucalyptus	
34.000 - Pinus	



L'exemple précédent nous montre comment un changement d'échelle peut changer la perception de l'impact, comment des informations additionnelles comme les surfaces mises en réserves peuvent augmenter la tolérance et l'acceptabilité d'un projet. La majeure partie du développement d'AMCEL se fait aujourd'hui sur des terrains en déprise agricole.

6. BILAN GAZ A EFFET DE SERRE

➤ INTRODUCTION

Comme pour l'estimation de l'impact sur l'environnement, il est nécessaire de déterminer l'impact des plantations sur le climat. Les indicateurs étudiés aujourd'hui sont essentiellement les gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone, le méthane, etc...

Aujourd'hui le principal indicateur utilisé pour les analyses des cycles de vie est le carbone. Le Dioxyde de carbone (CO₂) est considéré aujourd'hui comme principal gaz responsable du réchauffement climatique. La plupart des calculs sont donc effectués à partir de cette molécule ou en équivalent CO₂.

Similaire à une analyse de cycle de vie qui fournit un moyen efficace et systémique pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit, l'analyse d'un scénario initial et d'un scénario alternatif permet par comparaison d'évaluer la quantité de CO₂ émise et donc d'en déduire l'impact de l'activité sur le réchauffement climatique.

Contrairement à des scénarios bois d'œuvre, on ne comptabilise pas le taux de CO₂ séquestré **mais le taux évité/économisé par rapport à une consommation d'une énergie autre que le bois pour la Guyane** (fioul, hydrique...). En effet, les scénarios étant élaborés pour une valorisation en bois énergie, 1 tonne de carbone séquestrée dans le bois sera équivalente à 1 tonne de carbone émise lors de la combustion³. L'enjeu se joue donc dans les scénarios sur la substitution du bois énergie à une autre source d'énergie.

➤ ELABORATION DU SCENARIO INITIAL

L'élaboration du scénario de référence est primordiale pour pouvoir évaluer l'impact. Il est déterminé sur le principe « use-as-usual », c'est-à-dire de décrire la situation telle qu'elle évoluerait toutes choses égales par ailleurs. Aussi il sera important de prendre en considération les hypothèses de construction de ce scénario de référence et du détail des calculs.

Actuellement en Guyane les plantations peuvent se faire sur :

- une défriche de forêt primaire : pour des raisons éthiques internationales, réglementaires et juridiques, ce scénario n'est pas recommandé (cf. paragraphe « Etat initial »), sauf s'il y a une décision politique qui permet de dédier du foncier forestier à une activité forestière
- des savanes : pour des raisons de rareté de ces milieux sur le littoral guyanais, et pour une mise en cohérence avec le SAR qui préconise la préservation de ces milieux, ce scénario est à écarter.
- Des terres agricoles défrichées avec une éventuelle repousse
- Des terres agricoles dégradées
- Des productions agricoles soit sur un pâturage pour implantation d'un système sylvopastoral, soit sur une culture pour l'implantation d'un système agrosylviculture.

³ Il est émis l'hypothèse d'une combustion complète

Au vu de l'analyse précédente les savanes sont exclues des scénarios de référence.

Les scénarios de référence seront donc établis à partir de terrains agricoles ou à vocation agricole ou de terrains forestiers (sous réserve d'une décision politique en ce sens).

Cependant, le scénario « terre agricole défrichée avec repousse secondaire » est exclu pour les raisons suivantes :

- Les plantations sur ce type de terrain seront très probablement peu fréquentes. En effet ces terrains, proches des zones urbaines, seront essentiellement destinés à l'installation urbaine ou à une agriculture périurbaine et non aux grandes plantations à vocation bois énergie.
- La forêt secondarisée suite à des défriches agricoles présente des faciès très diversifiés. Il est donc impossible de donner une valeur moyenne de biomasse et donc de tonnes de CO₂ équivalent (cf. SIMA-PECAT, typologie de l'occupation des sols)
- Le profil « terre agricole défrichée avec repousse secondaire » sera intégré selon une hypothèse basse sans biomasse ligneuse au profil « terres agricoles dégradées » ou selon une hypothèse haute avec une forte repousse et donc une forte biomasse ligneuse au profil « forêt primaire ». Sachant que sur une forêt secondaire, le niveau de biomasse sera inférieur à celui d'une forêt primaire.

Les plantations de bois énergies peuvent se faire sur terrain boisé ou non.

Le scénario de référence, est donc :

Une production d'électricité avec les ressources actuellement disponibles en Guyane (solaire, hydraulique, fioul...) ayant un impact carbone de 0,09 TC/Mwh produit, soit 0,33 tCO₂ /Mwh.

➤ ELABORATION DES SCENARIOS ALTERNATIFS

Les scénarios alternatifs décrits ci-dessous sont des cas théoriques. Les itinéraires techniques sont élaborés à partir d'exemples rencontrés en littérature ou en visites de terrain. Ils permettent néanmoins d'appréhender l'impact bilan GES des plantations selon plusieurs scénarios. Les valeurs de tonnes de matière sèche par hectare (TMS/ha) sont issues des évaluations SIMA-PECAT⁴.

Les scénarios alternatifs sont élaborés à 30 ans, afin de permettre d'évaluer les effets à moyen terme. En effet, certains itinéraires sylvicoles ont des cycles à 15 ans et il est nécessaire de prendre en compte au moins deux rotations.

Pour des raisons de simplicité de calcul chaque scénario se fait à l'échelle d'un hectare.

Hypothèses de calcul

Le bilan GES de la substitution se fait selon l'hypothèse d'un bois à 30% d'humidité et d'un PCI du bois à 12290 KJ/Kg⁵.

L'impact carbone de la production électrique (avec des énergies autres que le bois) sur le réseau électrique guyanais est aujourd'hui estimé à 0,09tC/Mwh (soit 0,33 tCO₂/Mwh), source ADEME 2006. Cependant, cette valeur est en cours de révision, l'OREDD proposerait notamment une valeur approximative de 0,15tC/Mwh (soit 0,55 tCO₂/Mwh).

⁴ Rapport :

⁵ Etude SIMA-PECAT, donnée confidentielle

Facteur de variation

La plantation biomasse peut se faire :

- Soit sur un terrain foresté avec une valeur de biomasse théorique de 350 TMS/ha⁶.
- Soit sur un terrain agricole ou à vocation agricole avec une valeur de biomasse théorique de 0 TMS/ha

On intègre ce paramètre dans le scénario alternatif.

Culture dédiée biomasse : taillis courte rotation

Dans les rapports précédents, le taillis courte rotation (TCR) a été évoqué, notamment avec l'exemple de l'eucalyptus. Le sol de la parcelle est préparé, les plants sont implantés avec une densité initiale de 2.5-3m x 2.5-3 m (soit entre 1111 et 1600 plants/ha). L'exploitation pour la biomasse a lieu tous les 5 ans. Les tiges sont coupées et l'exploitation suivante se fera sur les rejets de la souche. Il est nécessaire que l'espèce ciblée soit propice à rejeter.

L'estimation de la valeur biomasse de cette plantation est de 25-35 m³/ha/an, soit 150 m³ sur 5 ans, soit 100TMS/5 an⁷.

A chaque rotation, donc tous les 5 ans, il sort 100 TMS de la parcelle ce qui équivaut, une fois valorisé en énergie, à 140 tCO₂ substituées par rapport au scénario d'utilisation d'une autre énergie pour la production électrique en Guyane.

⇒ *A partir d'un sol Forestier*

La plantation de taillis courte rotation peut se faire à partir d'un sol forestier. La biomasse est estimée à 350 TMS/ha. L'implantation des plants se fait après déforestation et travail du sol.

La parcelle initiale a une valeur de biomasse de 350 TMS/ha. Lors de la défriche on émet l'hypothèse qu'une partie du bois est valorisé en bois d'œuvre (30TMS soit 9%), une partie en bois énergie (280TMS soit 80%) et une partie est restituée au sol (40TMS soit 11%). Le bilan GES de cette défriche est évaluée à 672 tCO₂ émis⁸.

Par ailleurs, vu qu'une partie du bois est valorisé en bois énergie, on arrive à 280 TMS potentiellement valorisées en énergie. Ce qui équivaut à donc 392 tCO₂ substituées⁹.

Scénario initial : 1 ha de forêt sur pied, avec une valeur biomasse de 350 TMS/ha mais avec un stockage tCO₂ égal au déstockage (flux =0) + production électrique impactante à 0,33 tCO₂ /Mwh.

Scénario alternatif TCR après défriche forestière : défriche de 1 ha de forêt donc de 350 TMS, avec une conversion bois d'œuvre (9%) + bois énergie (80%) + restitution (11%) donc à cette étape on a une première substitution, mise en place d'une plantation TCR dans un objectif de production de bois énergie, on a une deuxième phase de substitution qui se répète tous les 5ans.

⁶ TMS/ha : tonnes de matière sèche par hectare

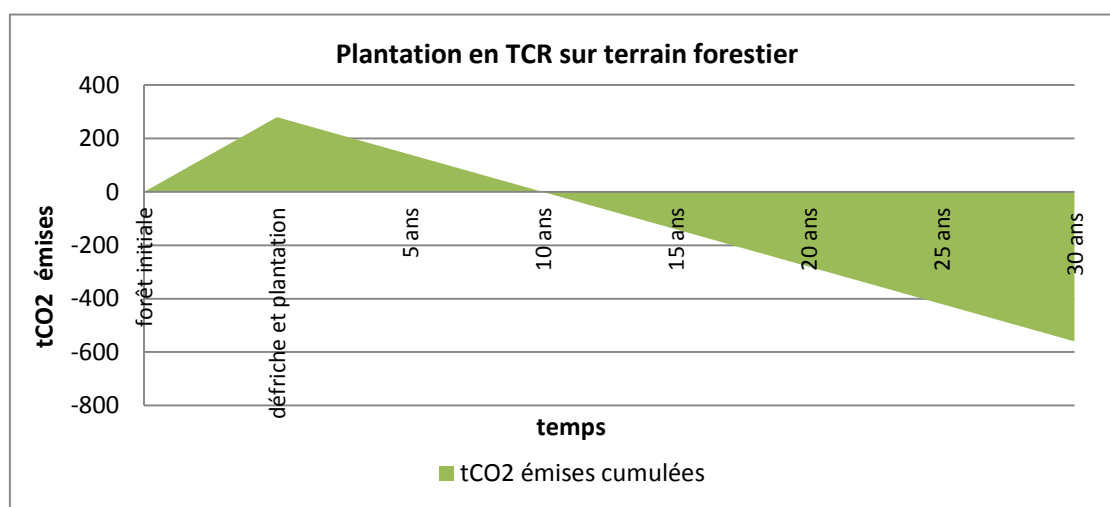
⁷ Taux de conversion : 1m³=0.7 TMS

⁸ La donnée tient compte de la décomposition du bois dans la parcelle mais pas du bilan GES issu de la substitution « bois-matériau », Donnée SIMA-PECAT, d'après expertises privées, confidentiel

⁹ La donnée tient compte de la décomposition du bois dans la parcelle mais pas du bilan GES issu de la substitution « bois-matériau », Donnée SIMA-PECAT, d'après expertises privées, confidentiel

Détail du calcul des tCO₂ émises d'après l'itinéraire d'une plantation en TCR sur sol forestier

Evolution de la parcelle	en tCO ₂ émises cumulées	TMS bois énergie cumulées	TMS bois énergie	tCO ₂ substituées	tCO ₂ émises
forêt initiale	0	0	0	0	0
défriche et plantation	280	280	280	-392	672
5 ans	140	380	100	-140	0
10 ans	0	480	100	-140	0
15 ans	-140	580	100	-140	0
20 ans	-280	680	100	-140	0
25 ans	-420	780	100	-140	0
30 ans	-560	880	100	-140	0



Bilan : Le bilan de la défriche est une émission de 672 tCO₂. Du fait qu'il y ait une substitution par rapport à d'autres combustibles, la plantation du TCR atténue donc l'impact de la défriche en termes de bilan de gaz à effet de serre. **Au bout de 10 ans, le système aura des « émissions négatives » ce qui équivaut à dire qu'au bout de 10 ans, l'effet « substitution-énergie » aura compensé l'effet défriche.**

Afin de comparer ce scénario alternatif au scénario initial, il suffit de comparer, à quantité d'énergie produite égale (Mwh), les bilans GES des deux scénarios.

Ainsi à 30 ans, pour 880 TMS bois énergie, il aura été substitué 1120 tCO₂, pour 2992 Mwh¹⁰ produits en centrale biomasse. Le taux de conversion est donc de 0,37.

Centrale biomasse	Production énergie « use-as-usual »
0,37 tCO ₂ /Mwh	0,33 tCO ₂ /Mwh

Pour ce scénario, la production biomasse en plantation ne semble pas intéressante.

Dans ce scénario, il n'est pas tenu compte de la substitution bois matériau, qui potentiellement atténuerait encore l'effet « défriche ». Il faudra prendre en compte les évolutions possibles de la valeur de l'impact carbone de la production électrique en Guyane.

¹⁰ Donnée SIMA-PECAT, confidentielle.

⇒ A partir d'un sol agricole :

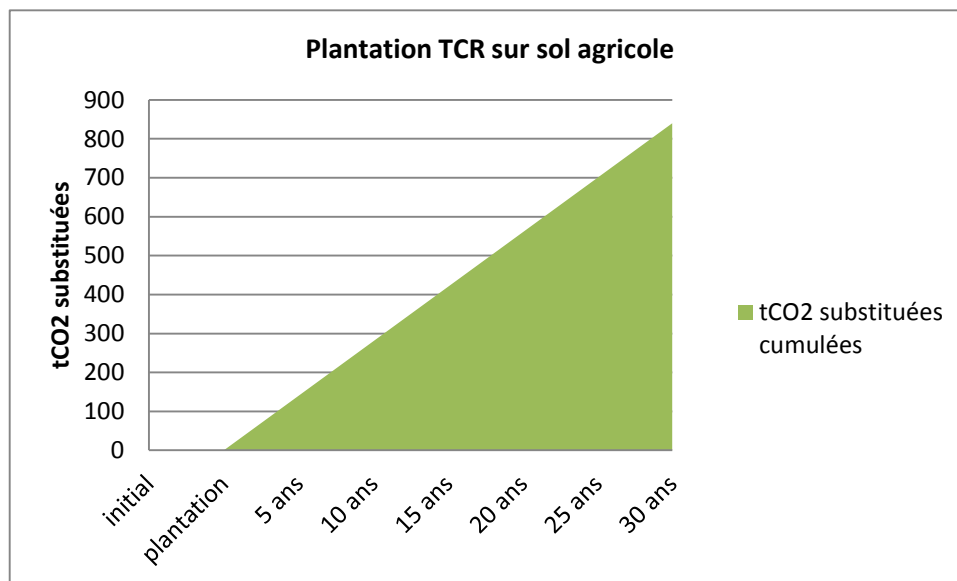
La plantation en TCR peut aussi se faire sur un sol agricole avec une valeur biomasse initiale à zéro.

Scénario initial : parcelle agricole dégradée avec une valeur biomasse de 0 TMS/ha et stockage carbone à 0 + production électrique impactante à 0,33tCO₂ /Mwh.

Scénario alternatif TCR sur sol agricole : travail du sol et plantation TCR dans un objectif de production bois énergie avec substitution.

Détail du calcul des tCO₂ émises d'après l'itinéraire d'une plantation TCR sur sol agricole

Evolution de la parcelle	tCO ₂ substituées	TMS Bois énergie cumulées	TMS Bois énergie
Etat initial	0	0	0
plantation	0	0	0
5 ans	140	100	100
10 ans	280	200	100
15 ans	420	300	100
20 ans	560	400	100
25 ans	700	500	100
30 ans	840	600	100



A 30 ans plus de 800 tCO₂ auront été économisées.

A 30 ans, pour 600 TMS, il aura été substitué 840 tCO₂, pour 2040 Mwh produit en centrale biomasse.

Le taux de conversion est donc de 0,41.

Centrale biomasse	Production énergie « use-as-usual »
0,41 tCO ₂ /Mwh	0,33 tCO ₂ /Mwh

Pour ce scénario, la production biomasse en plantation ne semble pas intéressante. Il faudra prendre en compte les évolutions possibles de la valeur de l'impact carbone de la production électrique en Guyane.

Plantation mixte

La plantation mixte a été présentée avec l'exemple du Mogno dans les rapports précédents. La plantation se fait à une densité de 400 plants par hectares (5 x 5). Il s'agit de valoriser 90 m3 en bois énergie à 10 ans et 210 m3 à 15 ans avec un tiers (70 m3) valorisé en bois d'œuvre et les deux tiers (140 m3) en bois énergie.

L'estimation de la valeur biomasse est de 90 m3 soit 63 TMS au bout de 10 ans et de 140 m3 de bois énergie à 15 ans, soit 98 TMS au bout de 15 ans. La substitution bois matériau ne sera cependant pas prise en compte. La plantation mixte peut se mettre en œuvre à partir d'un terrain boisé ou un sol agricole.

⇒ *A partir d'un sol forestier*

La biomasse d'une parcelle forestière est estimée à 350 TMS/ha. L'implantation des plants se fait après déforestation et travail du sol. Lors de la défriche on émet l'hypothèse qu'une partie du bois est valorisé en bois d'œuvre (30TMS soit 9%), une partie en bois énergie (280TMS soit 80%) et une partie est restituée au sol (40TMS soit 11%). Le bilan GES de cette défriche est évaluée à 672 tCO₂ émis¹¹.

Par ailleurs, vu qu'une partie du bois est valorisé en bois énergie, on arrive à 280 TMS potentiellement valorisées en énergie. Ce qui équivaut à donc 392 tCO₂ substituées.

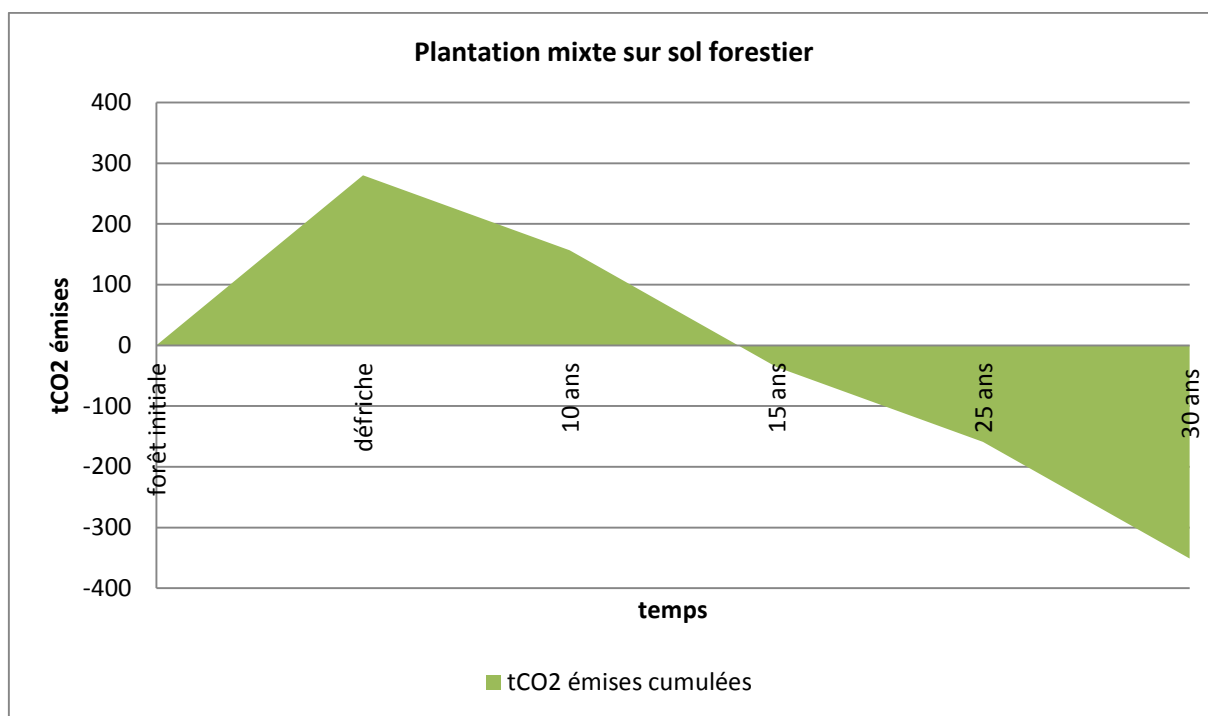
Scénario initial : parcelle forestière avec une valeur biomasse de 350 TMS/ha mais avec un stockage tCO₂ égal au déstockage (flux =0) + production électrique impactante à 0,33 tCO₂ /Mwh.

Scénario alternatif plantation mixte après défriche forestière : défriche de 1 ha de forêt donc de 350 TMS, avec une conversion bois d'œuvre (9%) + bois énergie (80%) + restitution (11%) donc à cette étape on a une première substitution, mise en place d'une plantation mixte avec une production de bois énergie et bois d'œuvre.

Détail du calcul des tCO₂ émises d'après l'itinéraire d'une plantation mixte sur sol forestier

Evolution de la parcelle	en tCO ₂ émises cumulées	TMS bois énergie cumulées	TMS bois énergie	tCO ₂ substitué	tCO ₂ émis
forêt initiale	0	0	0	0	0
défriche	280	280	280	-392	672
10 ans	157	343	63	-123	0
15 ans	-36	441	98	-192	0
25 ans	-159	504	63	-123	0
30 ans	-351	602	98	-192	0

¹¹ La donnée tient compte de la décomposition du bois dans la parcelle mais pas du bilan GES issu de la substitution « bois-matériau », Donnée SIMA-PECAT, d'après expertises privées, confidentiel



Bilan : Le bilan de la défriche est une émission de 672 tCO₂. Du fait qu'il y ait une substitution par rapport à d'autres combustibles, la plantation mixte atténue l'impact de la défriche en termes de bilan de gaz à effet de serre. **Au bout de 15 ans, le système aura des « émissions négatives » ce qui équivaut à dire qu'au bout de 15 ans, l'effet « substitution-énergie » aura compensé l'effet défriche.**

Ainsi à 30 ans, pour 602 TMS, il aura été substitué 1023 tCO₂ pour 2047 Mwh produits en centrale biomasse. Le taux de conversion est donc de 0,5.

Centrale biomasse	Production énergie « use-as-usual »
0,5 tCO ₂ /Mwh	0,33 tCO ₂ /Mwh

Pour ce scénario, la production biomasse en plantation ne semble pas intéressante. Il faudra prendre en compte les évolutions possibles de la valeur de l'impact carbone de la production électrique en Guyane.

⇒ *A partir d'un sol agricole*

La plantation mixte peut aussi se faire à partir d'un sol agricole avec une valeur biomasse initiale à zéro.

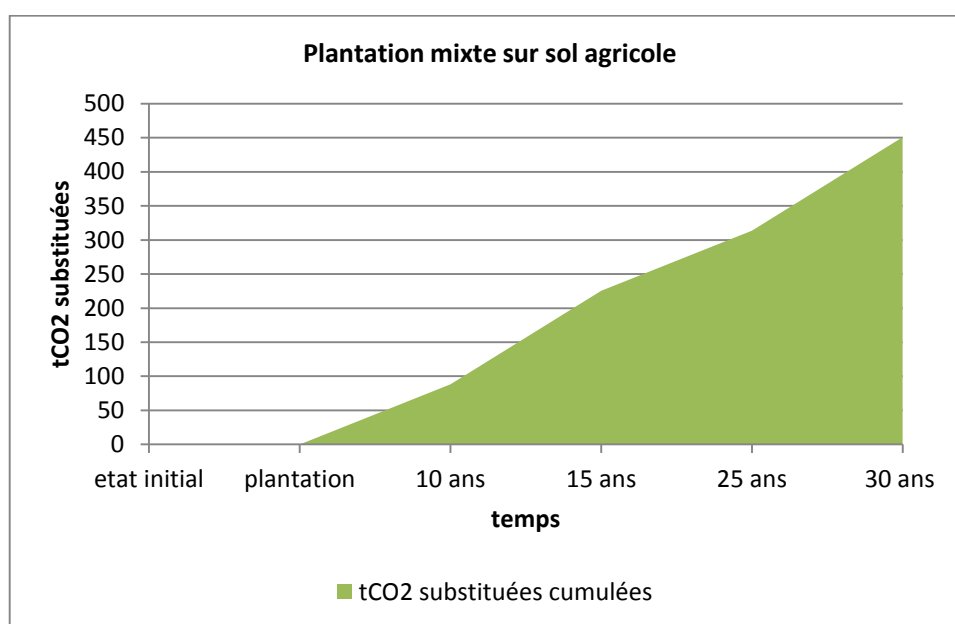
L'estimation de la valeur biomasse est de 90 m³ soit 63 TMS au bout de 10 ans et de 140 m³ de bois énergie à 15 ans, soit 98 TMS au bout de 15 ans.

Scénario initial : parcelle agricole dégradée avec une valeur biomasse de 0 TMS/ha et stockage carbone à 0 + production électrique impactante à 0,33 tCO₂ /Mwh.

Scénario alternatif plantation mixte sur sol agricole : travail du sol et plantation mixte dans un objectif de production bois d'œuvre et bois énergie avec substitution.

Détail de calcul des tCO₂ émises d'après l'itinéraire d'une plantation mixte sur sol agricole

Evolution de la parcelle	tCO ₂ substituées	TMS bois énergie cumulées	TMS bois énergie
Etat initial	0	0	0
plantation	0	0	0
10 ans	88	63	63
15 ans	225	161	98
25 ans	314	224	63
30 ans	451	322	98



Au bout de 30 ans, la plantation mixte sur sol agricole aura substitué 450 tCO₂.

A 30 ans, pour 322 TMS, il aura été substitué 451 tCO₂, pour 1095 Mwh produit en centrale biomasse.

Le taux de conversion est donc de 0.41.

Centrale biomasse	Production énergie « use-as-usual »
0,41 tCO ₂ /Mwh	0,33 tCO ₂ /Mwh

Pour ce scénario, la production biomasse en plantation ne semble pas intéressante en termes de bilan GES. Il faudra prendre en compte les évolutions possibles de la valeur de l'impact carbone de la production électrique en Guyane.

Dans ce scénario, il n'est pas tenu compte de la substitution bois matériau, qui potentiellement atténuerait encore l'effet « défriche ». Il faudra prendre en compte les évolutions possibles de la valeur de l'impact carbone de la production électrique en Guyane.

Agroforesterie

La plantation d'arbre en agroforesterie pourra se faire pour obtenir un système sylvopastoral ou agro-sylvicole. Quoiqu'il en soit, la mise en œuvre de la plantation se fait sur un sol agricole pour lequel la valeur biomasse est estimée à zéro.

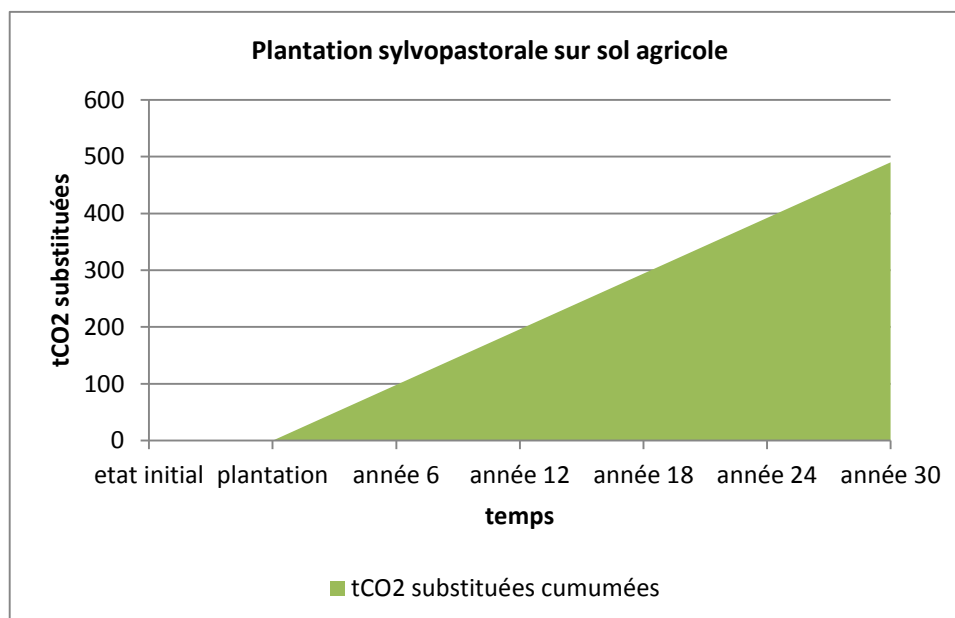
Les rapports précédents illustrent notamment le procédé sylvopastoral avec la mise en œuvre d'une plantation d'Eucalyptus plantée en densité 3 x 12 m. La plantation produit 100 – 120 m³ au bout de 6 ans, soit l'équivalent de 70 TMS.

Scénario initial : parcelle agricole dégradée avec une valeur biomasse de 0 TMS/ha et stockage carbone à 0 + production électrique impactante à 0,33tCO₂ /Mwh.

Scénario alternatif plantation en système sylvopastoral : travail du sol et plantation en ligne dans le pâturage dans un objectif de production de bois énergie.

Détail de calcul des tCO₂ émises d'après l'itinéraire d'une plantation sylvopastorale

Evolution de la parcelle	tCO ₂ substituées	TMS bois énergie cumulées	TMS bois énergie
Etat initial	0	0	0
plantation	0	0	0
année 6	98	70	70
année 12	196	140	70
année 18	294	210	70
année 24	392	280	70
année 30	490	350	70



Au bout de 30 ans, le système sylvopastoral aura économisé près de 500 tCO₂.

A 30 ans, pour 350 TMS, il aura été substitué 490 tCO₂, pour 1190 Mwh produit en centrale biomasse.

Le taux de conversion est donc de 0.41.

Centrale biomasse	Production énergie « use-as-usual »
0,41 tCO ₂ /Mwh	0,33 tCO ₂ /Mwh

Pour ce scénario, la production biomasse en plantation ne semble pas intéressante en termes de bilan GES. Il faudra prendre en compte les évolutions possibles de la valeur de l'impact carbone de la production électrique en Guyane.

➤ COMPARAISON DES BILANS GES DES SCENARIOS ALTERNATIFS

Scénario alternatif	TCR – sur sol forestier	TCR – sur sol agricole	Mixte - sur sol forestier	Mixte - sur sol agricole	sylvopastoralisme
Bilan tCO ₂ économisé à 30ans (en tCO ₂)	560 en bilan net (1120 au total)	840	351 en bilan net (1023 au total)	451	490

Le taillis courte rotation sur sol agricole semble le scénario le plus intéressant en terme de bilan GES sur 30 ans. Les itinéraires implantés sur sol forestier sont pénalisés par le fort impact carbone de la défriche forestière. Les bilans de GES de l'itinéraire d'une plantation mixte sur sol agricole et du sylvopastoralisme sont sensiblement identiques.

➤ DISCUSSION

Dans les scénarios présentés, les hypothèses ne tiennent pas compte :

- Du sol et du bilan GES de la restitution au sol
- du volet transport (considéré toutefois comme négligeable)
- Des amendements reliés à l'itinéraire technique (considérés toutefois comme négligeables)
- De la séquestration du bois d'œuvre en termes de substitution-matériau (selon modalités GIEC) qui peut avoir un impact positif important.

Dans l'absolu, la plantation participe donc favorablement à la séquestration du carbone atmosphérique, notamment par l'effet « substitution-énergie ». Toutefois, le bilan Carbone d'une plantation se trouvera également fortement modifié selon l'état de la parcelle défini par le scénario de référence : forêt naturelle, pâturage ou terre dégradée.

La valorisation des déchets d'exploitation apporterait également un bilan positif puisque le bois est laissé à fermenter en temps normal.

Il convient également pour chaque activité de calculer les émissions de CO₂ liées à la production des plants en pépinière, à la préparation de la parcelle, à la plantation des arbres, à la fertilisation, à l'entretien de la plantation et à l'exploitation du bois. **Mais ces volets sont considérés comme non significatifs comparativement au bénéfice de substitution à l'énergie.**

➤ CONCLUSION

Pour 1 Mwh produit, on émet globalement 0,41 tCO₂¹² pour les plantations (modulé si elles sont implantées sur sol forestier) alors que le taux d'émission pour de la production électrique est évalué à 0,33 tCO₂. D'après cette simulation, il apparaît que le bilan GES (carbone) est meilleur dans le scénario initial (hors filière bois énergie). Cependant, un biais important est introduit avec le non prise en considération de la substitution bois-matériau qui pourrait être un facteur d'atténuation non négligeable. Les hypothèses de calcul des scénarios devraient donc être affinées. Il est important de faire remarquer la révision en cours de la valeur de l'impact carbone de la production électrique guyanaise. La valeur prise en compte est celle de l'ADEME 2006 à savoir 0,09 tC/Mwh. Cette valeur pourrait être réévaluée à 0,15 t tC/Mwh (soit 0,55 tCO₂/Mwh) ce qui inverserait la tendance pour l'ensemble des scénarios.

Enfin, en termes de mise en œuvre, il subsiste la question d'accessibilité et du suivi du foncier pour des plantations sur sol agricole. Par ailleurs, à l'heure actuelle aucune possibilité n'est envisageable sur les terrains forestiers, sans une intervention préalable de volonté politique pour ouvrir l'accès à ce scénario.

7. POSSIBILITE DE LABELISATION

➤ REDD+

Le mécanisme REDD valorise le carbone provenant de la réduction des émissions issues de la déforestation et la dégradation des forêts. Au niveau international, actuellement aucune règle ne fixe ce mécanisme, contrairement à d'autres mécanismes mis en œuvre dans le cadre du protocole de Kyoto tels que les mécanismes de Mise en Œuvre Conjointe (MOC) ou Mécanisme de Développement Propre (MDP). Par ailleurs, vu les futures discussions sur le post Kyoto (2014-2020) il est préférable de parler de mécanisme « type REDD » notamment dans le contexte guyanais. Pour inscrire un projet en tant que mécanisme de type REDD, il faut montrer que l'énergie à partir de biomasse ligneuse évite la déforestation et améliore le bilan GES.

La tendance actuelle d'approvisionnement de l'énergie en Guyane s'oriente vers la construction d'un deuxième barrage hydraulique. La construction de ce barrage nécessite la destruction d'une forêt notamment par inondation, ce qui provoque de forts dégagements de méthane et un changement de l'occupation des sols donc une destruction de l'état forestier. Le montage d'un projet de plantation biomasse proposant comme scénario alternatif la production d'énergie par des plantations mises en place sur des sols agricoles pourrait être éligible au mécanisme de type REDD. Il faudrait toutefois définir le nombre d'hectares de plantation nécessaires à satisfaire la même capacité d'approvisionnement en énergie que le scénario initial du barrage hydraulique.

➤ LABELLISATION FSC

La labellisation FSC (Forest Stewardship Council) est basée sur des critères de gestion forestière qui répondent aux besoins sociaux, économiques, écologiques, spirituels et culturels des générations actuelles et futures¹³. Le cahier des charges FSC évalue la gestion à long terme et les moyens d'y parvenir. Le suivi et l'évaluation de la gestion forestière doit conduire à évaluer les rendements des produits forestiers, la filière bois, les opérations de gestions et leurs impacts sociaux et environnementaux. Le principe 10 du cahier des charges de FSC concerne exclusivement les plantations. Elles doivent être planifiées, être un complément de la gestion des forêts naturelles et doivent contribuer à réduire les pressions sur celles-ci. Ainsi, d'après ses principes, le label FSC peut tout à fait labéliser des plantations. Le dossier de candidature au label devra veiller à répondre aux critères FSC. D'autres certifications peuvent être étudiées, telles que la certification PEFC, ou encore CCBS.

¹² avec les hypothèses émises

¹³ <http://fr.fsc.org/>

VI. SYNTHÈSE DES TYPES D'EFFETS ENVIRONNEMENTAUX DES PLANTATIONS DE BOIS ÉNERGIE

Tableau bilan reprenant les différents critères évalués dans ce document :

Effets sur... \ scénario	Valorisation des rémanents d'exploitation	Plantation dédiée à courte rotation	Sylvopastoralisme
l'interception des précipitations	Effet potentiellement faible : L'interception de la pluie et l'infiltration de l'eau dans le sol ne semble pas à priori notablement différentes s'il y a exportation des rémanents d'exploitation de forêt naturelle ou plantée ou s'ils sont laissés au sol. Cela reste à vérifier	Etat initial terrain dégradé : interception augmentée. Considérée sur plusieurs cycles de culture, l'interception d'une plantation à courte rotation sera inférieure à celle de la forêt guyanaise. les effets sur l'infiltration dépendront de l'état du sol.	Interception augmentée : L'interception serait plus importante que sur pâturage seul, mais pas de mesure précise à l'heure actuelle.
le ruissellement	Effet brut potentiellement négatif : Les rémanents d'exploitation constituent une protection pour le sol et un apport de MO structurante. S'ils sont prélevés (hors souches) le risque de ruissellement est augmenté	Effet brut potentiellement négatif qui peut être réduit avec des plantes de couvertures : Les travaux du sol et le passage des engins d'exploitation peuvent compacter le sol, augmenter la battance et donc le risque de ruissellement	Effet brut potentiellement négatif mais moindre si on le compare aux plantations industrielles : La présence d'un couvert végétal herbacé permanent limite le ruissellement par rapport à une plantation dense dénué de plante de couverture.
la consommation en eau	Effet inconnu ou peu connu : Pas ou peu de données. A priori, différence peu significative avec une exploitation sans prélèvement des rémanents	Effets variés et variables, à apprécier au cas par cas à différentes échelles : Variations cycliques du niveau de prélèvement en eau dans le sol et la nappe en fonction de la rotation culturale	Effet potentiellement positif en saison des pluies, effet négatif possible avec certaines essences si la sécheresse est trop marquée dans certains bassins de Guyane. Régulation de l'eau dans le sol. Risque potentiel de concurrence hydrique en saison sèche les premières années
l'érosion	Effet négatif potentiellement faible : Le prélèvement des rémanents diminue la protection du sol après exploitation, donc favorise le risque d'érosion mais le risque résiduel pourrait être acceptable en cas de préservation majoritaire du couvert arboré sur des cycles longs.	Etat initial = terre agricole => par rapport à des cultures à cycle court où le sol est travaillé régulièrement, l'effet sera potentiellement positif, mais pas par rapport à un verger avec plantes de couvertures pérennes. La litière peut limiter l'érosion. La rareté de la végétation de sous-bois a tendance à l'accroître.	Effet positif potentiel si on compare à l'état initial du pâturage et que l'on calcul sur plusieurs années mais effet négatif si on compare à un état initial forestier naturel. Les arbres peuvent favoriser la fixation du sol grâce à leur système racinaire

Effets sur... \ scénario	Valorisation des rémanents d'exploitation	Plantation dédiée à courte rotation	sylvopastoralisme
la disponibilité en nutriments dans le sol	Effet potentiellement négatif : Une partie des éléments minéraux, notamment le calcium se trouvent dans les rémanents. Leur exportation conduit à un appauvrissement du sol	Effet potentiellement négatif surtout en TTCR mais corrigeable avec des apports d'engrais minéraux ou organiques dans la mesure où les conséquences sont acceptables pour l'hydrologie qualitative des milieux aquatiques guyanais. Dans le cas de l'eucalyptus, appauvrissement du sol. La restitution des rémanents ne suffit pas à équilibrer les exportations	Effet négatif potentiel mais potentiellement de moindre ampleur que la plantation dédiée à courte révolution. Même effet que dans les plantations pures mais de moindre ampleur. Variable selon les essences
le risque de pollution chimique	Risque d'effet négatif. Dépend des pratiques initiales d'exploitation et de la pente. Sol moins protégé, ruissellement facilité.	Sur terrain dégradé : effet potentiellement négatif Sur terre agricole : effet dépend des pratiques initiales et des pratiques modifiées de fertilisation et d'utilisation des pesticides. Perturbations régulières du milieu, augmentation du risque de ruissellement, augmentation du risque chimique.	Effet probablement faible mais dépendant des pratiques de fertilisation et d'utilisation des pesticides. Potentiellement plus faible perturbation du milieu que le TCR qui est plus gourmand en intrant.
la biodiversité floristique	Effet peu connu	Effet potentiellement positif sur prairie entretenue quasi-mono spécifique, Effet négatif si état initial forestier ou si terres dégradées en cours de repousse forestières	Effet positif : Amélioration de la biodiversité par rapport à une prairie pâturée entretenue quasi-mono spécifique
la biodiversité faunistique	Effet négatif potentiel : Diminution de l'activité biologique de la faune du sol par diminution des ressources	Sur milieu initialement fortement dégradé ou sur certaines terres agricoles, l'effet de la plantation sur la biodiversité faunistique peut tout de même être positif. Les perturbations régulières du milieu nuisent à l'installation de la faune. l'effet dépend de la surface de plantation. plus le milieu est hétérogène plus il est favorable pour la faune. Les espèces endémiques sont plus favorables que les exotiques	Effet potentiel positif. Les arbres plantés augmentent la biodiversité floristique et participent à l'hétérogénéité du milieu.

Sur le plan économique et environnemental, le sylvopastoralisme apparaît comme un mode de production de biomasse énergie potentiellement rentable, pour peu que les espèces et les itinéraires techniques soit bien choisis et potentiellement faiblement impactant, pour peu que les vérifications du respect des futurs cahiers des charges soient assurées. Les plantations à cycle court peuvent avoir des effets négatifs sur le milieu, au même titre que des productions agricoles pluriannuelles, de par les bouleversements réguliers qu'elle impose au milieu (ouverture brutale, travail du sol, dessouchage...). Le mode de conduite de ces plantations s'approche plus des pratiques agricoles que de la sylviculture traditionnelle d'afforestation ou de reforestation à cycle long.

Le prélèvement des rémanents d'exploitation de forêt ou de plantation de bois d'œuvre paraît engendrer quelques effets négatifs relativement faibles sur le milieu. Cette pratique a l'avantage d'être peu perturbatrice pour le milieu initial (forêt plantée ou naturelle). En outre, l'appréciation des effets de cette pratique sur l'environnement dépend fortement des pratiques initiales : si les rémanents sont brûlés in situ, d'autres effets négatifs apparaissent (bilan GES, pertes en nutriments, ...), de même si les rémanents sont andainés (bilan GES, raclement de la couche arable par les engins, risque d'érosion, perte de MO...). Quoiqu'il en soit, l'exportation des rémanents de plantation entraîne un déficit en nutriments pour le sol qui doit être compensé par des apports de fertilisants. Il pourrait être envisagé d'épandre les cendres issues de la combustion pour pallier au déficit.

VII. RECOMMANDATIONS POUR LA PLANTATION DE BOIS ENERGIE EN GUYANE

❖ *Contextualiser les évaluations d'impacts*

Les données citées concernent surtout le Brésil. Il est nécessaire de préparer un cahier des charges de suivi d'impacts avec le choix d'indicateurs pertinents en fonction des scénarios d'exploitations projetées, des échelles d'études et des contextes hydro géomorphologiques des expérimentations guyanaises.

Une fois les évaluations d'impacts approfondies sur les futurs sites ciblés d'expérimentation et de production, il s'agira de faire des propositions de modèles moins impactants (plantations mixtes, patchwork, corridors écologiques, ...) et / ou de schémas compensatoires (exemple projet Fibria). Ces mesures devront rester dans le cadre clairement établi d'une viabilité économique. Il sera important d'avoir une approche technico-économique et notamment par l'intermédiaire de l'évaluation des coûts des mesures de réduction et de compensation d'impacts.

❖ *Propositions préalables d'espèces natives*

Les alternatives à l'eucalyptus en Amazonie brésilienne ont été abordées dans le cadre du rapport 2. Les conditions techniques d'exploitation viables économiquement ne sont clairement pas matures pour la grande majorité voire la totalité de ces espèces. Remplacer l'eucalyptus par des espèces endogènes ne va très probablement pas être aisé, à moins de redéployer des programmes de recherche dans la sélection variétale et génétique d'espèce locale. Ces programmes, peuvent avoir des coûts non négligeables pour une mise en application à un pas de temps inconnu. Toutefois des essais pilotes sur des itinéraires techniques de conduite pourraient être menés afin notamment de pouvoir comparer l'impact environnemental entre les différents types de plantation.

❖ *Propositions d'interdiction d'espèces avec un trop grand risque d'invasibilité*

Contrairement aux propositions émises par le passé par l'INRA ou actuellement par le CIRAD, le retour d'expérience du Brésil rejoint les préconisations de la DEAL (et associations environnementales) quant au caractère envahissant de l'Accacia Mangium. Dans le cadre de l'élaboration d'un cahier des charges et préconisation pour les plantations, la Région Guyane peut être motrice de l'interdiction du développement de l'Accacia mangium dans les cultures à vocation énergétique.

❖ *Eau-Sol :*

Quelques unes des principales mesures à prendre en amont d'un constat de dégradation du sol pourraient être d'établir le cahier des charges de la lutte antiérosive avec les aménagements micro-hydrauliques nécessaires et d'assurer le maintien au mieux de l'infiltration des eaux et de la fertilité des sols par la gestion de la couverture antiérosive et le renouvellement suffisants des apports en matière organique à partir du bois. Cela permettrait à la fois de conserver des conditions de culture propices au développement des végétaux et de limiter la pollution des sols et de l'eau par le lessivage et le ruissellement d'intrants chimiques.

Quelques premières mesures :

- Laisser sur place les parties sous-terraines des arbres et les rémanents d'exploitation (broyés ou non) au sol de la parcelle (écorces, houppier si pas utilisé). La restitution des rémanents d'exploitation (racines, feuillage, écorce) sur la parcelle représente de 0,3 à 0.35 t de matière par tonne de bois produite.
- Employer des méthodes de préparation du terrain qui réduisent au minimum les perturbations et les pertes d'éléments minéraux ou de matière organique des rémanents, de la litière ou du sol superficiel.
- Préconiser éventuellement d'introduire des légumineuses (fabacées) fixatrices de l'azote atmosphérique, qui ont également la faculté d'améliorer la biodisponibilité du phosphore. Elles pourraient être implantées en culture intercalaire ou en jachère cultivée entre 2 révolutions successives. Il est toutefois nécessaire de prouver au préalable que cet itinéraire ne nuit pas à l'équilibre économique de la plantation ou du sylvopastoralisme.
- Employer efficacement et consciencieusement les engrais
- Sélectionner des variétés peu exigeantes en apports minéraux.

❖ *Corridors écologiques et préservation des milieux sensibles*

La préservation des milieux sensibles tels que les ripisylves et de connexions entre milieux naturels permet de préserver une certaine biodiversité floristique et faunistique. Les ripisylves jouent entre autre un rôle de filtre retenant en partie les engrais, les produits phytosanitaires et les particules de sol érodées, influant sur la qualité de l'eau.

❖ *Recommandations pour la mise en place de plantations de bois-énergie*

Afin de maximiser les chances de succès de la plantation en Guyane, il paraît opportun de bénéficier du retour d'expériences développées par le Brésil et de solliciter l'expertise des ingénieurs forestiers brésiliens sur le terrain afin de prendre connaissance de leurs conseils. L'organisation d'une mission d'expertise de plusieurs jours avec des spécialistes de différents secteurs (pédologie, nutrition des plantes et gestion des engrais, préparation et travail du sol (techniques culturales), choix des essences et des variétés / clones, âge et technique d'exploitation ...) pourrait être envisagée à relativement court terme. Cette coopération peut être

prévue une fois les sites de plantation choisis, et les entreprises planteuses définies. Il s'agit de s'inspirer des techniques mises en œuvre au Brésil, de se les réapproprier et de bien évaluer les éventuelles barrières (sociales et financières) afin de mettre en place une expérimentation locale.

❖ *Schémas compensatoires :*

Certaines grandes entreprises du secteur du bois au Brésil ont choisi de mettre en place des systèmes compensatoires pour contrebalancer les effets négatifs résiduels de leurs activités par des actions positives en faveur de l'environnement et des populations impactées, permettant en outre de justifier leur activité à impact zéro.

Exemple 1 : Fibria (anciennement Aracruz cellulose)

Fibria a mis en place un Programme d'éducation à l'environnement à travers les « noyaux d'éducation à l'environnement » localisés dans 4 villes et intervenant auprès des communautés locales pour sensibiliser la population aux thématiques environnementales et intégrer l'entreprise à la vie sociale locale.

Ils ont mis en place un Programme de conservation et gestion des ressources naturelles : programme d'étude du milieu naturel sur les terres gérées par Fibria pour évaluer les impacts des activités de l'entreprise (de la production des plants au transport du bois coupé) et adopter des mesures préventives de contrôle.

- Identification et cartographie des biomes locaux
- Inventaire des informations sur la flore endémique
- Identification des aires d'intérêt écologique majeur
- Analyse et définition des moyens de protection, restauration et gestion des aires de conservation
- Mesures de gestion de la faune sylvestre
- Identification et gestion des espèces animales et végétales invasives

D'autres programmes et méthodes existent : Bioindex, Avifaune (suivi des populations d'oiseaux comme bioindicateurs), Apiculture, Partenariat dans des projets environnementaux ...

Le Label CCBA (Alliance Climat, Communauté et Biodiversité) pourrait éventuellement labelliser ce type de projet. Il faut pouvoir montrer les bénéfices quantifiables pour le climat, la communauté et la biodiversité dans le cadre d'une approche intégrée et durable.

Exemple 2 : Jari cellulose : création de la Fondation ORSA puis Jari en 2000 avec 1% du chiffre d'affaire annuel de l'entreprise pour mettre en place des projets de développement local dans la région.

Depuis 2007, la fondation concentre son engagement sur trois domaines: la consolidation et création de politiques publiques pour la gestion régionale; le renforcement des organisations civiles et des associations à travers des formations professionnelles spécifiques; et l'appui à des activités productives et au petit entrepreneuriat, notamment en zones rurales. Il semble évident que la stratégie de l'entreprise sous le groupe ORSA consiste non seulement à répondre aux impacts négatifs des activités agro-industrielles dans la région, mais aussi à prévenir de futurs conflits avec les communautés, grâce à leur intégration aux activités économiques de l'entreprise et à la distribution de bénéfices générés par de petits partenariats économiques (GREISSING, 2010).

Un label ne pouvant être décerné à la fondation pour récompenser l'ensemble de ses projets, il serait intéressant de voir plus en détail si certains ont pu bénéficier d'une reconnaissance. Les labels éthiques ou de commerce équitable pourraient éventuellement récompenser cette démarche.

VIII. CONCLUSIONS

La mise en place de plantations bois-énergie, quelque soit l'itinéraire technique mis en œuvre, sera une nouvelle étape pour la Guyane dans le cadre de sa préoccupation d'approvisionnement énergétique et sa volonté de développer plusieurs sources d'approvisionnement. Les plantations, doivent ainsi faire l'objet d'une grande attention. Un cahier des charge et recommandations pour réduire l'impact environnemental doit être établi conformément à la réglementation française et au contexte guyanais.

Bien que des plantations d'essences exotiques soient recommandées pour des raisons de rentabilité, la mise en œuvre d'essais pilotes sur des espèces natives devrait se faire en parallèle pour continuer à acquérir des connaissances afin de les valoriser à plus long terme. La comparaison de l'impact de plantations d'espèces natives pourrait ainsi être réalisée en contexte guyanais.

Avec l'augmentation du cours du pétrole, la viabilité économique du volet plantations bois-énergie doit être évaluée afin de participer activement à l'indépendance énergétique de la Guyane.

Les hypothèses de calcul du bilan à effet de serre des 5 scénarios seront à réévaluer en fonction de l'évolution de la valeur de l'impact carbone de la production électrique guyanaise, notamment en fonction du déploiement d'autres énergies que le bois qui peuvent avoir un bilan GES au Mwh produit plus impactant. L'intégration du calcul de la substitution bois-matériau est un paramètre important.

Outre cet indicateur simple, il s'agira dans un second temps de formuler quelques clefs de comparaisons économiques, environnementales et sociales entre différentes énergies renouvelables et d'envisager dans quelles mesures est-ce qu'il serait possible que les plantations se fassent en complémentarité et non en opposition avec les autres grandes ou plus petites sources d'énergie renouvelable.

IX. LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES PRÉ-SÉLECTIONNÉES

auteur	ref biblio complète
Couto et al., 1982	COUTO, L.; BARROS, N. F. de; REZENDE, G. C. Interplanting soybean with eucalypt as a 2-tier Agroforestry Venture in South-eastern Brazil. Australian Forest Research , v. 12, n. 4, p. 329-332, 1982.
Gurgel Filho, 1962	GURGEL FILHO, O. A. Plantio do eucalypto consorciado com milho. <i>Silvicultura em São Paulo</i> , São Paulo, v. 1, n. 1, p. 85-102, 1962.
Schreiner e Balloni, 1986	SCHREINER, H. G.; BALLONI, E. A. Consórcio das culturas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) e eucalypto (<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden) no Sudeste do Brasil. <i>Boletim de Pesquisa Florestal</i> , Colombo, n. 12, p. 83-104, jun. 1986
Schreiner, 1989	SCHREINER, H. G. Culturas intercalares de soja em reflorestamentos de eucalyptos no Sul - Sudeste do Brasil. <i>Boletim de Pesquisa Florestal</i> , Colombo, n. 18/19, p. 1-10, jun./dez. 1989.
Bouillet et al. (2008)	BOUILLET, J.-P., J.-P. LACLAU, J.L.M. GONCALVEZ, M.Z. MOREIRA, P.C.O. TRIVELIN, C. JOURDAN, E.V. SILVA, M.C. PICCOLO, S.M. TSAI et A. GALIANA (2008), "Mixed-Species Plantations of <i>Acacia Mangium</i> and <i>Eucalyptus Grandis</i> in Brazil: 2. Nitrogen Accumulation in the Stands and Biological N ₂ Fixation", <i>Forest Ecology and Management</i> , vol. 255, 12, pp. 3918-3930.
Butterfield et Espinoza, 1995	BUTTERFIELD, R. et M. ESPINOZA (1995), "Screening Trial of 14 Tropical Hardwoods with an Emphasis on Species Native to Costa Rica: Fourth Year Results", <i>New Forests</i> , vol. 9, 2, pp. 135-145.
Butterfield et Fisher, 1994	BUTTERFIELD, R. et R. FISHER (1994), "Untapped Potential: Native Species for Reforestation", <i>Journal of Forestry</i> , vol. 92, 6, pp. 37-40.
Butterfield, 1990	BUTTERFIELD, R. (1990), "Native Species for Reforestation and Land Restoration: a Case Study from Costa Rica", <i>Proceedings from the 19th IUFRO World Congress</i> , Montreal.
Carpanezi et al., 1983	CARPANEZZI, A.A., L.C.T. MARQUES et M. KANASHIRO (1983), "Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (<i>Sclerobolium Paniculatum</i> Vogel)", <i>Circular técnica 8</i> , Embrapa-URPFCS, Curitiba
Carvalho, 2003	CARVALHO, P.E.R. (2003), <i>Espécies arbóreas brasileiras</i> . Brasília, DF, Embrapa informação tecnológica, Embrapa florestas, Colombo.
Carvalho, 2007	CARVALHO, P.E.R. (2007), "Paricá <i>Schizolobium amazonicum</i> ", <i>circular técnica 142</i> , Embrapa (Institut brésilien de recherche agronomique), Colombo
du Toit et Dovey (2005)	DU TOIT, B et S.B. DOVEY (2005), "Effect of Site Management on Leaf Area, Early Biomass Development, and Stand Growth Efficiency of a <i>Eucalyptus Grandis</i> Plantation in South Africa", <i>Canadian Journal of Forest Research</i> , vol. 35, 4, pp. 891-900
du Toit, 2003	DU TOIT, B. et D. DREW (2003b), <i>Effects of Fertilising Four Eucalypt Hybrid Stands on Wood Density, Screened Pulp Yield and Fibre Production</i> , ICFR Bulletin 22.
Ducke, 1949	DUCKE, A. (1949), "Notas sobre a flora neotrópica - II. As leguminosas da Amazônia Brasileira", <i>Boletim Técnico 18</i> , Instituto Agrônomo do Norte, Belem.

auteur	ref biblio complète
Hagggar et al., 1998	HAGGAR, J.P., C.B. BRISCOE et R.P. BUTTERFIELD (1998), “Native Species: a Resource for the Diversification of Forestry Production in the Lowland Humid Tropics”, <i>Forest Ecology and Management</i> , vol. 106, 2-3, pp. 195-203.
Harrington, 1999	HARRINGTON, C.A. (1999), “Forests Planted for Ecosystem Restoration or Conservation”, <i>New Forests</i> , 17-18, 1-3, pp. 175-190.
Kleidon et Heimann, 2000	KLEIDON, A. et M. HEIMANN (2000), “Assessing the Role of Deep Rooted Vegetation in the Climate System with Model Simulations: Mechanism, Comparison to Observations and Implications for Amazonian Deforestation”, <i>Climate Dynamics</i> , vol. 16, 2-3, pp. 183-199.
Lima et al., 2006	LIMA, A.M.N., I.R. SILVA, J.C.L. NEVES, R.F. NOVAIS, N.F. BARROS, E.S. MENDONCA, T.S. SMYTH, M.S. MOREIRA et F.P. LEITE (2006), “Soil Organic Carbon Dynamics Following Afforestation of Degraded Pastures with Eucalyptus in Southeastern Brazil”, <i>Forest Ecology and Management</i> , vol. 235, 1-3, pp. 219-231.
Lorenzi, 1998	LORENZI, H. (1998), <i>Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil</i> , vol. 2, plantarum, nova odessa, São Paulo.
Montagnini et al., 1995	MONTAGNINI, F., E. GONZALES, R. RHEINGANS et C. PORRAS (1995), “Mixed and Pure Forest Plantations in the Humid Neotropics: a Comparison of Early Growth, Pest Damage and Establishment Costs”, <i>Commonwealth Forestry Review</i> , vol. 74, 4, pp. 306-314.
Nichols, 1994	NICHOLS, D. (1994), “Terminalia amazonia (Gmel.) Exell: Development of Native Species for Reforestation and Agroforestry”, <i>Commonwealth Forestry Review</i> , vol. 73, 1, pp. 9-13.
Nouvellon et al., 2009	NOUVELLON, Y, J.-L. STAPE, J.-M. BONNEFOND, J.-P. BOUILLET, L. SAINT-ANDRÉ, O. HAMEL, D. EPRON, G. LE MAIRE, O. ROUPSARD, H. DA ROCHA, J.L.M. GONÇALVES, C. MARSDEN, C. JOURDAN et J.-P. LACLAU (2009), “Carbon Sequestration and Water-Use by Eucalypt Plantations in Congo and Brazil”, Communication at the International Conference Knowledge-Based Management of Tropical Rainforests, 22-28 November, Cayenne, French Guyana.
Nzila et al. (2002)	NZILA, J.-D., J.-P. BOUILLET, J.-P. LACLAU et J. RANGER (2002), “The Effects of Slash Management on Nutrient Cycling and Tree Growth in Eucalyptus Plantations in the Congo”, <i>Forest Ecology and Management</i> , 171, 1-2, pp. 209-221.
Ohashi, 2005	OHASHI, S.T. (2005), Variabilidade genética e fenotípica entre procedências de Paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby visando seleção de materiais genéticos para sistemas agroflorestais, thèse de doctorat en sciences de l’agriculture, UFRA, Belem.
Paula, 1982	PAULA, J.E. (1982), “Espécies nativas com perspectivas energéticas”, <i>Silvicultura em São Paulo</i> , vol. 16A, 2, pp. 1259-1315.
Piotto et al., 2003a	PIOTTO, D., F. MONTAGNINI, L. UGALDE et M. KANNINEN (2003a), “Growth and Effects of Thinning of Mixed and Pure Plantations with Native Trees in Humid Tropical Costa Rica”, <i>Forest Ecology and Management</i> , vol. 177, 1-3, pp. 427-439.
Pires et Marcati, 2005	PIRES, I.P.P. et C.R. MARCATI (2005), “Anatomia e uso da madeira de duas variedades de <i>Sclerolobium paniculatum</i> Vog. do

auteur	ref biblio complète
Redondo-Brenes, 2007	REDONDO-BRENES, A. (2007), "Growth, carbon sequestration, and management of native tree plantations in humid regions of Costa Rica", <i>New Forests</i> , vol. 34, 3, pp. 253-268.
Rosa, 2006	ROSA, L. DOS S. (2006), "Ecologia e silvicultura do paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke) na Amazônia Brasileira", <i>Revista de Ciências Agrárias</i> , n° 45, pp. 135-174.
Silva (2006	SILVA, G.G.C. (2006), <i>Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em reposta à disponibilidade de água e nutrientes, thèse de doctorat (sols et nutrition des plantes)</i> , UFV, Viçosa
Silva Jr, 2005	SILVA JR, M.C. (DA.) (2005), <i>100 árvores do Cerrado: guia de campo</i> , Rede de Sementes do Cerrado, Brasília.
Vale et al., 2002	VALE, A.T., M.A.M. BRASIL et A.L. LEÃO (2002), "Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado", <i>Ciência Florestal</i> , vol. 12, 1, pp. 71-80.
Venturieri, 1999	VENTURIERI, G.C. (1999), "Reproductive Ecology of <i>Schizolobium Amazonicum</i> Huber ex Ducke and <i>Sclerolobium Paniculatum</i> Vogel (Leg. Caesalpinioidea) and its Importance in Forestry Management Projects", in <i>Simposio Silvicultura Na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa/DIFID</i> , Embrapa-CPATU, Belem.
Chinnamani et al (1965	Chinnamani et al (1965), <i>Run-off studies under diferent forest covers in the Nilgiris</i> , <i>Indian Forester</i> 91 (8), pp. 676-679
de la Lama (1982)	de la Lama, <i>Atlas del eucalipto</i> , Ministerio de Agricultura, Instituto nacional de investigaciones agrarias e Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza, Vol. 5, Madrid 82p.
Del Moral et Muller (1970)	Del Moral et Muller (1970), <i>The allelopathic effects of Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>American Midland Naturalist</i> 83, pp. 254-282
Karschon et Heth (1967	Karschon et Heth (1967), <i>The water balance of a plantation of Eucalyptus camaldulensis denh., contributions on eucalyptus in Israel III</i>
Karschon, 1971	Karschon, 1971, <i>The efect of coppice cutting on the water balance of Eucalyptus camaldulensis denh.</i> , <i>Israel Journal of Agricultural Research</i> , 21 (3), pp. 115-126
Lee (1980	Lee, <i>Forest Hydrology</i> , Columbia University press, 1980
Lima et O' Loughlin (1986	Lima et O' Loughlin (1986), <i>The hydrology of eucalypt forest in Australia</i> , submitted for publication in IPEF, Piracicaba, Brasil
Mathur et al (1976	Mathur et al (1976), <i>effect of clearfelling and reforestation on run-off and peak rates on small watersheds</i> , <i>Indian Forester</i> 102 (4) 219-226
Mello 1975	MELLO, H.A. - <i>Posição das florestas artificiais na conservação dos recursos naturais renováveis</i> . In: ARACRUZ FLORESTAL S.A. - <i>O eucalipto e a ecologia</i> . Aracruz, 1975. p.11-4.
Mullette et al. (1974	Mullette et al. (1974), <i>Insoluble phosphorus usage by eucalyptus</i> , <i>Plant and Soil</i> n°41, pp. 199-205
Stein, 1952)	Stein, <i>nota sobre los resultados obtenidos en otros paises en las experiencias acerca de la influencia del eucalyptus sobre la cubierta florestal de las hoyas hidrograficas e sobre el mejoramiento del suelo con su aplicacion a la misma materia en chile</i> . <i>Extrait de mision forestal de la FAO</i> , n°9, 1952
Wise et Pitman (1981	<i>Nutrial removal and replacement associated with short rotation eucalipt plantations</i> . <i>Australian Forestry</i> 44 pp. 142-152

auteur	ref biblio complète
Dário e Almeida (2000)	Almeida, A. F., Vicenzo, M. C. V., Dário, F. R. "Avifauna em fragmentos da mata atlântica", <i>Ciência Rural</i> , v. 32, nov./dez. 2002.
Davidson (1985)	Davidson, J. "Setting aside the idea that eucalyptus are always bad". UNDP/ FAO project Bangladesh BGD/79/017, 1985 (Working Paper, 10).
Davidson (1993)	Davidson, J. "Ecological aspects of eucalyptus plantation". <i>Proceedings Regional Expert Consultation on Eucalyptus</i> , v. I, 4-8, oct. 1993
Foelkel (2005)	Foelkel, C. "Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores". <i>Eucalyptus Newsletter</i> , n. 2, out. 2005.
Lima (1990)	Lima, W. P. "Comparative evapotranspiration of eucalyptus, pine and natural "cerrado" vegetation measure by the soil water balance method". Ipef International, Piracicaba, 1990.
Palmberg (2002)	Palmberg, C. "Annotated bibliography on environmental, social and economic impacts of eucalypts". <i>Compilation from English, French and Spanish publications between 1995-1999</i> , set. 2002.
Poggiani, 1996	Poggiani, F. "Monitoramento ambiental de plantações florestais e áreas naturais adjacentes". <i>Série Técnica Ipef, Piracicaba</i> , v. 10, n. 29, p. 22, nov. 1996 Sul do Maranhão, Brasil", <i>Acta Botânica Brasílica</i> , vol. 19, 4, pp. 669-678.
Rajvanshi (1983)	Rajvanshi, A.; Soni, S.; Kukret, U. D.; Srivastava, M. M. "A comparative study of undergrowth of Sal forest and Eucalyptus plantation at Golatappar-Dehra Dun during rainy season". <i>Ind. Jr. For.</i> 6(2), p. 117-119, 1983.
Schlittler (1984)	Schlittler, F. H. M. <i>Composição florística e estrutura fitossociológica do sub-bosque de uma plantação de Eucalyptus tereticornis Sm. no município de Rio Claro - SP. Rio Claro, Unesp, 1984, 142p. (Tese de Mestrado).</i>
Soares et Oliveira (2002),	Soares, C. P; Oliveira, M. L. "Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais". <i>Revista da Árvore</i> , v. 26, out. 2002
Villa Nova (2003)	Villa Nova, N. A. "Eficiência de captura de energia solar por dosséis de Eucalyptus pellita F. Muel sob várias densidades de plantio". <i>Revista Brasileira de Agrometeorologia</i> , v. 11, n. 2, 2003.
Vilas Boas et al. (2011)	Vilas Boas et al. (2011), O EUCALIPTO RESSECA O SOLO? MITO OU VERDADE?, publication UERJ (universidade do Estado de Rio de Janeiro), www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/.../2530 . Consulté le 30/10/2013
Almeida 1979	Almeida 1979, INFLUÊNCIA DO TIPO DE VEGETAÇÃO NAS POPULAÇÕES DE AVES EM UMA FLORESTA IMPLANTADA DE Pinus spp, NA REGIÃO DE AGUDOS, SP, IPEF n.18, p.59-77, jun.1979
Almeida et Soares (2003)	Almeida, A. C; Soares, J. V. "Comparação entre uso de água em plantações de Eucalyptus grandis e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica)". <i>Revista Árvore</i> , Viçosa, v. 27, n. 2, 2003.
Cannel (1999)	Environmental impacts of forest monocultures: water use, acidification, wildlife conservation, and carbon storage, <i>New Forests</i> 17: 239–262, 1999.
Embrapa, 2000	http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/09_02_sistemas_silviagricolas.htm

auteur	ref biblio complète
Forrester et al. (2006)	FORRESTER, D.I., J. BAUHUS, A.L. COWIE et J.K. VANCLAY (2006), "Mixed-Species Plantations of Eucalyptus with Nitrogen Fixing Trees: a Review", Forest Ecology and Management, vol. 233, 2-3, pp. 211-230.
Laclau et al. (2010)	LACLAU, J.-P., J. RANGER, J.L. M. GONÇALVEZ, V. MAQUERE, A.V. KRUSHE, A. THONG M'BOU, Y. NOUVELLON, L. SAINT-ANDRÉ, J.-P. BOUILLET, M.C. PICCOLO et P. DELEPORTE (2010a), "Biogeochemical Cycles of Nutrients in Tropical Eucalyptus Plantations. Main Features Shown by Intensive Monitoring in Congo and Brazil", Forest Ecology and Management, vol. 259, 9, pp. 1771-1785
MAPA	MAPA: Ministerio da agricultura, Plano ABC, Integraçõ Lavoura, Pecuaria, Floresta, http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/ consulté le 30/10/2013
Martin, 2003).	MARTIN B. 2003. – L'eucalyptus : un arbre forestier stratégique. In: Rev. For. Fr., LV – 2.
Martin, 2004)	MARTIN, BOIS TROPICAL DES PLANTATIONS FORESTIÈRES INDUSTRIELLES, Académie d'Agriculture de France. Séance du 28 AVRIL 2004
Piketty,	PIKETTI M.B., AFD Document de travail n° 112, Charbon de bois et sidérurgie en Amazonie brésilienne, mai 2011
Poores et Fries (1985	Poores et Fries, les effets écologiques des eucalyptus, Etude FAO forêts n°59, 1986
SBS	Sociedade Brasileira de Silvicultura http://www.sbs.org.br/
VITAL (2007	VITAL M.H.S., Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto, Revista do BNDES, Rio de Janeiro, V. 14, N. 28, P. 235-276, dez. 2007
Nguyen T., Chaste B.	NGUYEN THE N., CHASTE B., 2006, Eucalyptus et environnement, AFOCEL, Informations Forêt n°1 - 2006, fiche n°752
Sell, J. K.; Figueró, A. S.	SELL, J. K.; FIGUERÓ, A. S., 2011, TRANSFORMAÇÃO DA PAISAGEM E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NO BIOMA PAMPA, Revista da ANPEGE, v. 7, n. 8, p. 129-141
Pointereau P. et al.	POINTEREAU P. et al., 2009 LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET PAYSAGERS DES NOUVELLES PRODUCTIONS ÉNERGÉTIQUES SUR LES PARCELLES ET ÉNERGÉTIQUES SUR LES PARCELLES ET BATIMENTS AGRICOLES, Rapport final SOLAGRO/Agence Paysages, 151p.