

LABEL BAS CARBONE

MÉTHODE RESTAURATION DE TERRES AGRICOLES DÉGRADÉES Version du 22/03/2024

Ce document est une Méthode pour des projets volontaires de restauration de terres agricoles dégradées compatible avec le Label Bas Carbone. Cette méthode a été rédigée par Manon Lopez, ingénieur conseil forêt environnement mandaté par Guyane Forest Initiative et Le Printemps des Terres.

Ce document s'appuie sur les méthodes forestières et arboricoles françaises, il est issu d'une concertation territoriale avec l'ensemble des acteurs publics/privés concernés par des projets forestiers, agroforestiers et des projets de restauration écologique.



Liste des membres du comité technique qui ont permis à l'aboutissement de cette méthode :

Nom	Structure	Poste
Alizée Destombes	ADEME Guyane	Ingénieur
Bénédicte Maximin	CTG	Responsable du service BTP, bois, activités extractives
Guillaume Bellemare	CTG	Chargé de mission énergie
Loic Buzare	CTG	Directeur service développement économique
Stevens Awasai	CTG	Chargé de mission CTE biomasse
Jeremie Lecaille	CTG	Responsable du service agriculture
Mathilde Ginestet-Giavelly	Chambre d'agriculture de Guyane	Conseillère en développement de filières
Benoit Jean	Office français de la biodiversité	Chef de projet ingénierie de projet économie et biodiversité
Laure Gardel	DGTM	Cheffe de l'unité Stratégie et Intégration de la Biodiversité Services Paysages, Eau et Biodiversité
Sacha Dauriac	DGTM	Chargé de mission Agro écologie
Alizee Ricardou	GEPOG	Chargé de programme forêts littoral
Etienne Vernet	Guyane Forest Initiative	Directeur général
Olivier Brunaux	ONF	Responsable service R&D
Sylvain Goupille	Printemps des terres	Directeur général
Elodie Brunstein	Solicaz	PDG
Jean Christophe Roggy	UMR EcoFoG	Directeur adjoint et correspondance valorisation/innovation

Table des matières

1	PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE ET DU CONTEXTE GUYANAIS	5
1.1	Objet de la méthode et applicabilité	5
1.2	Le contexte local	6
2	APPLICABILITÉ DE LA METHODE, CADRE DES PROJETS, DÉFINITION, DURÉE	9
2.1	Durée des projets	9
2.2	Les porteurs de projets	17
2.3	Procédure et vie d'un projet	17
2.4	Sélection des sources/puits et compartiments à prendre en compte	18
3	CRITÈRES D'ÉLIGIBILITÉ	19
3.1	Éligibilité du projet via zonage agroécologique	19
4	CHOIX DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE ET DÉMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE	21
4.1	Choix du scénario de référence	21
4.2	Démonstration de l'additionnalité	22
4.2.1	Aides publiques existantes	Erreur ! Signet non défini.
4.2.2	Analyse économique	22
5	INTÉGRITÉ ENVIRONNEMENTALE	24
6	INTÉGRATION DU RISQUE DE NON-PERMANENCE	29
6.1	Risque de dépérissement/inadéquation aux conditions édaphiques	30
6.2	Risques généraux, difficilement maîtrisables	30
6.3	Risque incendie	30
7	CALCUL DES RÉDUCTIONS GENERABLES	31
7.1	Calcul des réductions d'émission anticipées générables	31
7.1.1	REA générales du fait de la séquestration du carbone par la plantation	31
7.1.2	REA générales du fait du stockage du carbone dans les produits bois récoltés	32
7.2	Calcul des réductions d'émissions indirectes générables	34
7.2.1	Calcul des réductions d'émissions indirectes générables dans le scénario de restauration de terres agricoles dégradées	34
7.2.2	Calcul des réductions d'émissions indirectes générables dans le scénario de référence	36
7.3	Calcul des réductions d'émissions de l'empreinte générables	36
8	QUANTIFICATION CARBONE DES ITINÉRAIRES	36
8.1	Quantification générale du carbone	36
8.1.1	Estimation de la biomasse aérienne (BA)	37
8.1.2	Estimation de la biomasse racinaire (BR)	37

8.1.3	Taux de carbone dans la matière sèche	38
8.1.4	Estimation de l'évolution du stock de carbone dans les sols (S)	38
8.1.5	Estimation du stock de carbone dans la litière (L)	39
8.1.6	Estimation du stock de carbone dans le bois mort (M)	40
8.2	Modélisation de l'évolution du carbone dans le scénario de référence	40
8.2.1	Cas de la poursuite de l'agriculture	40
8.2.2	Cas de la colonisation naturelle/enfrichement	40
8.2.3	Modélisation de l'évolution du carbone dans l'itinéraire de restauration	41
9	VERIFICATION	41
10	REDUCTIONS DES EMISSIONS ANTICIPEES « FORET » GENERABLES ET GENEREES APRES APPLICATION DES RABAIS	43
11	BILAN DES ELEMENTS A FOURNIR ET DES RABAIS APPLICABLES	44
•	BIBLIOGRAPHIE	44
•	ANNEXES	

Erreur ! Signet non défini.

1 PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE ET DU CONTEXTE GUYANAIS

1.1 Objet de la méthode et applicabilité

La méthode « Restauration de terres agricoles dégradées » est conforme au référentiel du label « Bas-Carbone » décrit dans l'arrêté du 28 novembre 2018. Elle concerne la séquestration de carbone dans des plantations d'arbres fixateurs d'azote, de fruitiers et autres espèces locales d'intérêt pour restaurer le sol des terres agricoles dégradées.

Cette méthode s'applique à des parcelles agricoles qui ont fait l'objet d'un défrichement non suivi par la mise en culture ou délaissé ultérieurement pour des raisons de fertilité entraînant un enrichissement caractéristique des forêts secondaires (bois canon, herbes rasoirs...). Elle s'applique également à des parcelles agricoles dégradées dont la production est maintenue, mais avec des rendements et une fertilité inférieurs à normale. Ces terres ont souvent été dégradées par des pratiques de défriches non optimisées ou une mise en culture intensive non adaptée au type de sol. Cette méthode vise à restaurer la fertilité de ces sols tout en ayant une trajectoire plus vertueuse que l'enrichissement en termes de stockage de carbone sur une période de 30 ans. Elle s'applique alors sur des terres dégradées situées en Guyane, sur lesquelles les agriculteurs s'engagent dans une dynamique de restauration par le biais d'arbres de services fixateurs d'azote (ASFA). Afin de maintenir ou de réinstaller une production agricole sur ces parcelles, une part de culture fruitière sera intégrée au projet. Elle sera accompagnée d'une plantation de bois d'œuvre (BO) afin de diversifier les activités et d'augmenter l'agrobiodiversité. La culture fruitière sera garante de la continuité agricole sur ces parcelles, la production de biomasse alimentaire devra alors être supérieure ou égale à la production de l'année précédant le projet de restauration.

Afin que la méthode soit cohérente avec le Règlement contre la déforestation et la dégradation des forêts (RDUE), à partir du 1^{er} janvier 2031, les parcelles qui auraient fait l'objet d'une défriche après le 31 décembre 2020 ne seront éligibles.

Cette méthode s'appuie sur le projet européen RETAD « Restauration écologique des terres agricoles dégradées à Iracoubo » qui a pour objectif la mise en œuvre d'un programme modèle de restauration écologique de terres agricoles dégradées par des méthodes d'ingénierie écologique sur des parcelles agricoles des membres de l'Association des Agriculteurs des Savanes (ADADS). Il s'agit à ce stade de projets identifiés et suivis par les services de l'état. Les études de faisabilité ont été financées par le plan de relance.

Ce programme vise plusieurs sous-objectifs :

- Démonstration de la mise en œuvre d'une restauration écologique à l'échelle d'une exploitation agricole moyenne d'une surface de 5 ha ;
- Restauration du capital naturel des sols, de ses services écosystémiques et alimentaires ;
- Restauration d'une diversité écologique au sein de la parcelle dans l'objectif d'une valorisation future en système agroforestier ;

- Sensibilisation des professionnels agricoles aux principes de l'agroécologie ;
- Formations aux pratiques d'ingénierie écologique dans la conduite de leur exploitation.

Dans le cadre de cette méthode, on entend par « terre agricole dégradée » une terre dont le sol a perdu une partie de ses fonctions, comme par exemple nourrir les plantes ou les animaux, filtrer les eaux ou encore abriter une importante biodiversité (*i.e.* altération/dégradation de la qualité des sols). La dégradation des sols est définie comme un **changement dans l'état de santé du sol** qui entraîne une **diminution de la capacité de l'écosystème** à fournir des biens et services pour ses bénéficiaires. (FAO, 2023). C'est une **transformation** (physique, chimique et/ou biologique) **du sol** qui implique une **détérioration** plus ou moins réversible d'une ou de plusieurs de ses fonctions. C'est un phénomène essentiellement **dû aux actions de l'homme**. Les terres dégradées seront caractérisées par la méthode du zonage agroécologique décrite au 3.1.

Trois critères sont alors retenus pour l'éligibilité des parcelles à la méthode :

1. La qualification d'un état de dégradation du sol basé sur le zonage agroécologique (voir 3.1)
2. Dans le cas de parcelles ayant fait l'objet de défriche, seules les défriches réalisées avant le 31 décembre 2020 seront éligibles
3. Le maintien d'une production alimentaire à minima égale à ce qui était réalisé avant projet.

Cette méthode indique les différentes étapes à suivre pour évaluer les réductions d'émissions et les modalités de fonctionnement d'un projet de restauration de terres agricoles dégradées.

1.2 Le contexte local

« Avec une augmentation de +12,5% en 10 ans du nombre d'exploitations agricoles, l'agriculture guyanaise fait figure d'exception dans le paysage des régions françaises. Son dynamisme se traduit également par l'émergence de projets agro-industriels structurants (filrière bois-énergie, biomasse). Pour mener à bien ce projet territorial et être à même de conquérir ces marchés à venir, 1 800 ha de foncier (près de 6% de la SAU) sont en moyenne attribués chaque année pour des projets agricoles. Près de 300 agriculteurs par an sont accompagnés dans leur projet d'installation par le point d'accueil agriculture (PAI). Une vingtaine d'agriculteurs par an s'installent en bénéficiant de la dotation jeune agriculteur (DJA). La stratégie de développement agricole, prévue au Schéma d'Aménagement Régional (SAR) piloté par la CTG, vise à cultiver une SAU de 75 000 hectares d'ici 2030. **La préservation des espaces agricoles et l'optimisation des installations agricoles sont donc des enjeux majeurs pour la Guyane.** »

DAAF Guyane <https://daaf.guyane.agriculture.gouv.fr/Installations-agricoles>

La Guyane entreprend des projets ambitieux de recherche et développement (cf tableau 1) visant à augmenter son autosuffisance alimentaire et son autonomie énergétique. L'optimisation de la surface agricole utile (SAU) en plus de son développement apparaît alors indispensable. Or de nombreuses parcelles agricoles ayant fait l'objet de défrichement ont été délaissées pour des

raisons de productivité insuffisante provenant de pratiques agricoles qui épuisent rapidement la fertilité des sols. La restauration écologique de ces parcelles par le biais de l'ingénierie écologique fait partie des solutions ciblées. Elle nécessite au préalable la réalisation d'un zonage agroécologique pointu (cf. 2.2) ainsi qu'un investissement financier important difficile à supporter par les agriculteurs.

L'émergence du Label bas-carbone en France offre une perspective nouvelle pour le financement de projets agricoles et forestiers vertueux permettant d'augmenter la séquestration carbone aérien et dans les sols. Cependant, les méthodes existantes ne prennent pas en compte les spécificités du territoire Guyanais.

En ce sens, une réflexion a été menée par des acteurs locaux du territoire impliqués dans la mise en place de projets forestiers et agroforestiers pour **adapter les méthodes existantes au contexte Guyanais**. Cette démarche, initiée par Guyane Forest Initiative et Le Printemps des terres, a reçu le soutien de Solicaz et de l'UMR Ecofog deux centres techniques et scientifiques présents sur le territoire. Un comité technique local a également été créé afin d'élaborer cette méthode par concertation collective. Les acteurs du territoire impliqués dans la démarche sont:

- **Guyane Forest Initiative** est une entreprise créée en 2015. Elle assure la coordination, la mise en œuvre et le suivi d'activités agricoles ou forestières innovantes. Ce bureau d'études propose auprès de ses partenaires des conseils en ingénierie agroforestière, solutions énergétiques et climatiques pour l'accompagnement de la transition écologique. Ainsi GFI fait la promotion de pratiques innovantes liées à l'agro-écologie et l'agroforesterie aux côtés des petits agriculteurs du territoire et en particulier sur la zone agricole d'Iracoubo aux côtés de l'ADADS dans le cadre du projet LEADER Gal des Savanes.
- **Le Printemps des Terres**

Le Printemps des Terres est une société spécialisée dans la transition écologique des territoires, et notamment dans l'utilisation de paiements pour services écosystémiques (carbone, biodiversité, eau) pour infléchir le développement des projets fonciers dans une trajectoire alignée avec la préservation de l'environnement et les engagements des Accords de Paris.

- **SOLICAZ**, est une société d'ingénierie écologique ayant développé un savoir-faire et des compétences dans la restauration de sites anthropisés. A l'origine start-up de l'UMR EcoFoG (Unité Mixte de Recherche des forêts tropicales de Guyane), de AgroParisTech et du CNRS, Solicaz cumule 30 ans de savoir scientifique en écologie fonctionnelle et 10 ans d'expérience dans la restauration des sites miniers en zone tropicale et de pratiques agroécologiques. Ayant le statut d'organisme de recherche privé, agréé par le ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), la société développe des méthodes d'ingénierie écologique basées sur les principes du biomimétisme pour le maintien et/ou la restauration des services écosystémiques (fertilité des sols, biodiversité). Elle a à son actif plusieurs programmes de recherche sur le sujet (MOM, FEDER, privés) et a été lauréate de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (2011 – 2020) pour un programme innovant de sélection des plantes ayant la capacité de régénérer les sols et de restaurer la biodiversité après exploitation.

- **UMR EcoFoG**, L'UMR Écologie des Forêts de Guyane regroupe des moyens d'AgroParisTech, d'INRAE, du Cirad, du CNRS, de l'Université des Antilles et de l'Université de Guyane. L'unité fait partie du Laboratoire d'excellence Centre d'Étude de la Biodiversité Amazonienne. Le projet de l'UMR EcoFoG est d'intégrer différentes approches en écologie et sciences des matériaux pour (i) comprendre les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes forestiers tropicaux, exploités ou non, en évolution sous les pressions climatiques et anthropiques, (ii) susciter l'innovation dans la valorisation des ressources forestières dans le contexte de cette forte biodiversité en tenant compte des contraintes d'utilisation liées au milieu tropical humide.

Tableau 1: Synthèse des projets qui ont été menés sur le territoire Guyanais

Nom du projet	Objectifs du projet	Porteur du projet
VALEECO	Étude de la restauration écologique de milieux anthropisés à des fins économiques	CIRAD
CARPAG	Stockage de Carbone dans les pâturages	CIRAD
4 pour mille Outre-Mer 2021	Synthèse des connaissances en Guyane sur les dimensions biophysique et agronomique du stockage de carbone dans les sols et dans la biomasse aérienne.	CIRAD - UMR EcoFog
Projet RETAD Plan de relance 2021	Mise en œuvre d'un programme de restauration écologique de terres agricoles dégradées sur des terres des membres de l'Association des Agriculteurs des Savanes (ADADS)	ADADS - Solicaz - Guyaforest - Guyane Forest Initiative
Critère de durabilité RED 2 2020	Cahier des charges fixant les critères de durabilité et de réduction des émissions de gaz à effet de serre de la biomasse utilisée à des fins de production d'énergie en Guyane	CTG - ADEME - Banque des territoires - Nerius invest
GUYAGROFORESTERIE - RITA Guyane 2020	Création de référence pour les cultures et ASFA en SAF pour une meilleure gestion de la fertilité des sols et la promotion des pratiques agroécologiques	Guyane Forest Initiative – CIRAD – SOLICAZ - CFPPA
GOPEI 2019	Zonage agroécologique de Rococoua	Guyane Forest

		Initiative - Solicaz
Courte 2019	Le carbone des sols, la petite agriculture, ses systèmes de productions et pratiques, témoins des enjeux environnementaux et agricoles de la Guyane.	CIRAD - IRD
CARBIO SOL (2017-2022)	Stockage de carbone dans les sols dans des systèmes agroforestiers et de revégétalisation de sites miniers	UMR EcoFog - Voltalia - GDI - 4/1000 - Agroparitech
CarSGuy - 2016-2018	Stocks de carbone des sols de Guyane : Mesure et distribution	ADEME - IRD - Terres Inovia
GUYAFER - RITA 2013-2015	Réaliser un diagnostic des potentialités et des contraintes des principaux sols agricoles de la Guyane (propriétés physiques et biologiques). Améliorer la fertilité des sols via des pratiques adaptées.	INRAE - CIRAD - Solicaz
GUYAFIX - SNB 2012-2014	Mise en place d'une production de plantes fixatrices d'azote endémiques de Guyane utilisées pour la restauration des sites dégradés.	Solicaz - UMR EcoFoG - UMR <u>Amap</u>
GUYAFLUX 2012	Analyser la contribution des différents compartiments (sol, sous-étage et canopée) de l'écosystème au stockage et aux flux d'eau et de carbone. Modéliser la productivité primaire de ces écosystèmes, en reliant flux de carbone et croissance des arbres ;	UMR EcoFoG - INRAE

2 APPLICABILITÉ DE LA METHODE, CADRE DES PROJETS, DÉFINITION, DURÉE

2.1 Durée des projets

Par dérogation à la partie IV.C du référentiel du label Bas-Carbone, la durée pour un projet de restauration de terre agricole dégradée est de 30 années. Cette durée est celle sur laquelle est réalisé le calcul des réductions d'émission (RE) générables par le projet.

D'après les premiers résultats du programme 4/1000 Outre-mer présentés lors du comité local de Guyane qui s'est tenu le 10 mars 2022, « Synthèse des connaissances biophysiques sur le carbone du sol en Guyane », le stockage de carbone dans le sol engendré par un processus de restauration via les ASFA est de + 15 TC/ha en 10 ans. En Guyane les terres agricoles sont issues pour la plupart de défriche de forêt. L'état de dégradation constaté sur les parcelles agricoles est

lié à des pratiques de défriches non optimisées auquel s'ajoute une culture non adaptée au type de sol et des systèmes à forts intrants*. Lors d'une défriche non optimisée, on considère une perte de -12 à -50 TC/ha de carbone dans le sol (Courte, 2019). En ce sens la mise en place d'un processus de restauration des terres agricoles dégradées sur 30 ans permettrait d'augmenter le carbone du sol de + 45 TC /ha ce qui viendrait à compenser l'impact d'une défriche non optimisée (brulis, érosion, ruissèlement).

* Les systèmes à forts intrants consistent en l'usage d'intrants chimiques pour la gestion des ravageurs, des maladies, des adventices et la fertilisation. (Courte, 2019)

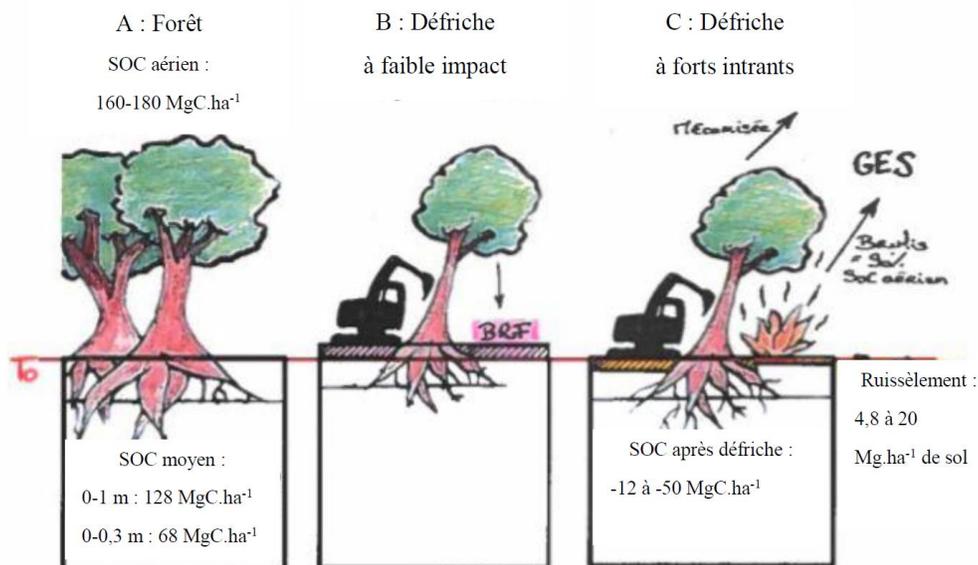


Figure 1: Schéma de l'évolution des Soil Organic Carbon (SOC), du T0 (A) à la défriche à faible impact (B) ou à fort impact (C) (Courte, 2019)

Par ailleurs cette durée de 30 ans correspond à la rotation préconisée pour les arbres bois d'œuvre présents dans l'itinéraire technique. Elle permet un processus de restauration optimum tout en favorisant les réductions d'émission par le stockage de carbone dans la biomasse et les produits bois. Le porteur de projet s'engage à maintenir le processus de restauration par le suivi de l'itinéraire technique préconisé sur une durée de 30 ans. Afin d'être en mesure de maintenir le projet de restauration sur la durée définie seul les porteurs de projets propriétaires de leurs parcelles seront éligibles ou leur mandataire.

Afin d'être en mesure de garantir le maintien du projet en cas de changement de propriétaire, le projet fera l'objet d'une servitude environnementale notariée associée à la parcelle cadastrale ou d'une obligation réelle environnementale (ORE).

2.2 Itinéraire technique de cultures mixtes à vocation régénérative

2.2.1 Les espèces cultivées

La restauration écologique permettra de planter plusieurs espèces d'arbres fruitiers et d'essences de bois d'œuvre en association avec des arbres de services fixateurs d'azote (ASFA). La plantation s'effectuera à une densité de 1100 tiges/ha réparties de la manière suivante :

Type	Répartition (%)	Essences préconisées
ASFA	75 % (± 5 %)	- Inga Edulis - Clitoria fairchildiana - Gliricidia sepium
Culture fruitière	25% (± 5 %)	- Cacaoyer - Bananier - Citronnier - Mandarinier - Oranger - Papayer
Bois d'œuvre		- Cèdre Sam - Bagasse

Le projet devra contenir 75% (± 5 %) d'ASFA et 25% (± 5 %) de culture fruitière ou bois d'œuvre. Les cultures fruitières devront représenter à minima 10% du projet.

Pour chacun des trois types (ASFA, Culture fruitière, Bois d'œuvre) le porteur devra choisir une ou plusieurs essences parmi celles préconisées.

Suite à l'avancée des recherches et l'amélioration des connaissances, d'autres essences pourront être introduites dans l'itinéraire technique, les modifications seront alors soumises pour validation auprès du ministère en charge du Label Bas Carbone afin d'établir une nouvelle version de la méthode.

Aucune espèce exogène ne sera acceptée à moins de prouver son caractère non invasif.

- ASFA

Les 3 espèces proposées appartiennent à la famille des Fabaceae : *Inga Edulis*, *Clitoria fairchildiana* et *Gliricidia sepium*.

Inga edulis est un arbre originaire de l'Amérique du Sud. Il est largement cultivé, surtout par les Indigènes amazoniens, pour ses gousses contenant une pulpe sucrée comestible, comme arbre d'ombrage dans les plantations de caféiers ou de cacaoyers, pour la médecine et pour la production de la boisson alcoolisée de cachiri. Il est populaire au Pérou, Equateur, Brésil, Bolivie, Guyana, Guyane, Suriname, Venezuela et Colombie. Le nom d'Inga est un nom donné aux arbres de ce genre par le peuple de Tupí d'Amérique du Sud. En français il a été surnommé « pois doux » ou « pois sucré » en raison de la saveur douce et de la texture lisse de sa pulpe.

Clitoria Fairchildiana est originaire du Brésil, mais est cultivé partout sous les tropiques comme arbre ornemental. Il atteint une hauteur de 20m, avec un tronc généralement court de plusieurs dizaines de cm de diamètre. Il est également largement utilisé en raison de ses caractéristiques dans les programmes de reboisement de zones dégradées et pour la consolidation des sols. Il présente de plus de bonnes potentialités comme plante fourragère. Le bois, moyennement lourd et facile à travailler, est employé dans les constructions pour la réalisation de cloisons, de plafonds et de revêtements intérieurs.

Gliricidia sepium est originaire du nord de l'Amérique du Sud, d'Amérique Centrale et du Mexique. Il est largement cultivé dans la plupart des pays tropicaux. Cet arbre est également commun dans les Antilles françaises. Il est très utilisé en agroforesterie, il sert à faire de l'ombre dans les plantations de cacaoyers et de caféiers, à fournir du bois de chauffage ou est utilisé comme engrais vert.

- Cultures fruitières

Les cultures fruitières devront permettre une production de biomasse alimentaire supérieure ou égale à ce qui était réalisé sur la parcelle l'année avant le projet de restauration. Le rendement de la parcelle avant projet sera mentionné dans le zonage agroécologique (voir 3.1)

Pour justifier de la production alimentaire du projet, on s'appuiera sur les données de référence en Guyane issues du Référentiel Technico Économique de Guyane (DAAF Guyane, 2019) au prorata de la densité de plantation réalisée.

Essence fruitière	Rendement moyen (T/ha/an)	Densité de plantation moyenne (pieds/ha)	Exemple de rendement projet pour une densité de 140 pieds/ha installés (T/ha/an)
Banane Bacove	5,5	1200	0,6
Banane Plantain	3,7	1200	0,4
Citron vert	8,6	140	8,6
Mandarine	6,4	315	2,8
Orange	5,2	220	3,3
Papaye	4,1	1200	0,5

Chiffres issus du Référentiel Technico Économique de Guyane (DAAF, 2019)

Pour ce qui du Cacao, il n'existe pas de référentiel exploitable en Guyane, on s'appuiera alors sur les rendements moyens à l'hectare mentionnées par le Barème des pertes de récoltes et de fonds de Guadeloupe (DAAF Guadeloupe, 2021).

Essence fruitière	Rendement moyen (T/ha/an)	Densité de plantation moyenne (pieds/ha)	Exemple de rendement projet pour une densité de 140 pieds/ha installés (T/ha/an)
Cacao	0,5	500	0,14

Chiffres issus du Barème des pertes de récoltes et de fonds de Guadeloupe (DAAF Guadeloupe, 2021)

Plusieurs associations sont possibles, voici deux exemples d'associations réalisable dans le cadre de cette méthode :

- Option A : Cacaoyer

Le cacaoyer produit à partir de 4 ou 5 années au total (phase de pépinière incluse). Le cacaoyer franc de pied et greffé ont le même délai avant entrée en production. Le cacaoyer à une espérance de vie théorique d'environ 80 ans. Dans les faits, aux alentours de 30-40 ans, la production d'un cacao décroît (CIRAD Combi). Selon la variété, le cacaoyer peut parfaitement avoir un bon développement en plein soleil, mais il faut au moins qu'il soit âgé de 6-8 ans. De manière générale on estime qu'en matière d'ombrage il faut :

<i>Ombrage nécessaire</i>	<i>Age</i>
75%	0 à 3 ans
50 %	3 à 6 ans
25 %	À partir de 6 ans

La problématique principale pour le cacaoyer est le vent. Il conviendra de bien orienter les rangs par rapport aux vents dominants (coupe-vent joué par les autres cultures).

Le cacaoyer est planté au champ lorsque l'ombre faite par les ASFA est suffisante, soit 2 ou 3 ans après la plantation des ASFA.

- Option B : Mélange de Bananier et Papayer

Le Bananier et le Papayer sont des espèces bien adaptées à l'environnement guyanais, elles ont une productivité importante et permettent de répondre à une forte demande locale.

Le mélange de ces essences permettra de diminuer la pression des ravageurs en interrompant leur cycle de reproduction et d'éviter un appauvrissement des sols lié à la mono culture. Ces espèces peuvent se cultiver à la densité théorique de 1100 arbres par hectares.

Les plants de Papayer et Bananier présentent un faible coût (1- 3 euros) mais doivent en revanche être replantés tous les 3 ans pour maintenir la productivité et garder une taille d'arbre convenable pour la récolte.

- Bois d'œuvre (BO)

Les propositions d'essences à cultiver seront basées sur les travaux de Forest Tree Culture 1 et 2 portés par le CIRAD, financés sur fonds FEDER. Les espèces préconisées sont : Le Cèdre Sam et la Bagasse (espèces locales).

2.2.2 Plan de plantation et échancier prévisionnel

Nombre total de plants 1100 arbres / hectare

Système de culture mixte : ASFA / BO / Fruitier

Travail du sol :

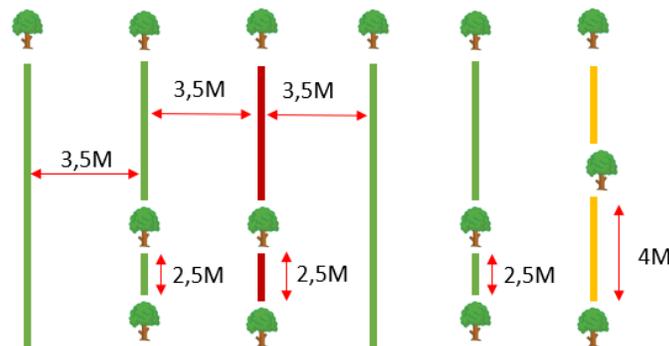
- en plein (labour)
- en ligne (sous-solage/emiettage)
- en potet travaillé (décompactage localisé à la pelle)

Répartitions des cultures: 2 rangées d'ASFA / 1 rangée de fruitiers / 2 rangées de ASFA / 1 rangée BO soit respectivement 75 %, 12,5 % et 12,5 % de la surface totale.

Densités de plantation (inter rang x rang) :

- BO : 3,5 x 2,5 mètres (inter rang x sur le rang) soit 1142 arbres par hectare.
- ASFA : 3,5 x 2,5 mètres soit 1142 arbres par hectare.
- Fruitiers : nous essayerons de conserver une densité de 1142 arbres par hectare, pour conserver un schéma de plantation cohérent (3,5 x 2,5 mètres)

On retiendra une densité approximative de 1100 plants par hectare à la plantation, avec un espacement de 3,5 x 2,5 mètres.



Légendes :

- ASFA
- BO
- Fruitiers

Figure 2: Espacement entre les plants (Guyane Forest Initiative)

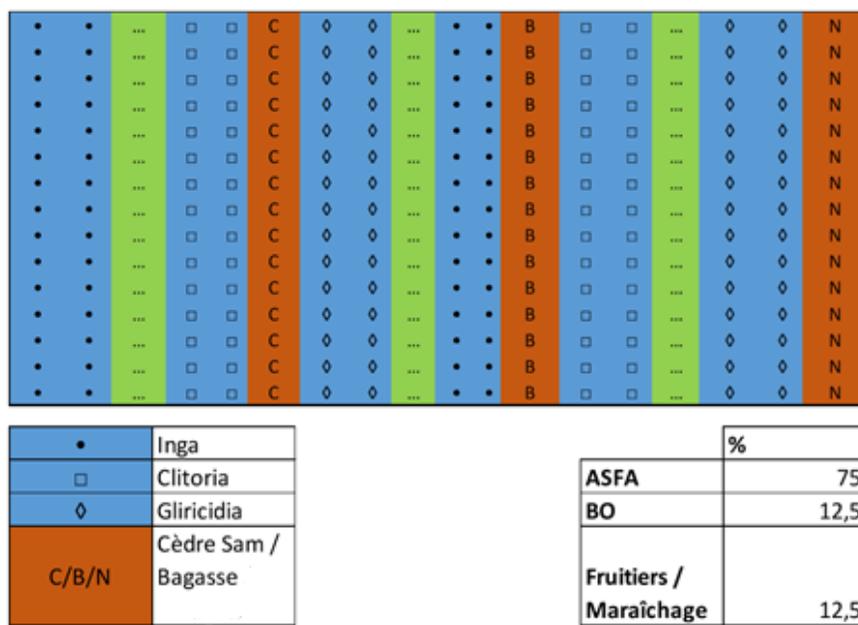


Figure 3: Schéma de plantation pour une densité de 1100 arbres/ha (Guyane Forest Initiative)

Les ASFA seront implantés sur 2 rangées contiguës afin de faciliter la récolte mécanisée du bois énergie (BE), en limitant le risque de faire des dégâts sur les rangs de BO et de fruitiers.

- Option A : Cacaoyer – proposition d'un itinéraire rentrant dans le cadre d'éligibilité

Nombre de plants prévisionnel option A (Cacao) :

Catégorie	Nom commun	Densité plants (arbre/ha)	% répartition	Nombre / ha
BO	Cèdre Sam	1142	4,17%	48
	Bagasse	1142	4,17%	48
ASFA	Inga	1142	25,00%	286
	Clitoria	1142	25,00%	286
	Gliricidia	1142	25,00%	286
Fruitier	Cacao	1142	12,50%	143

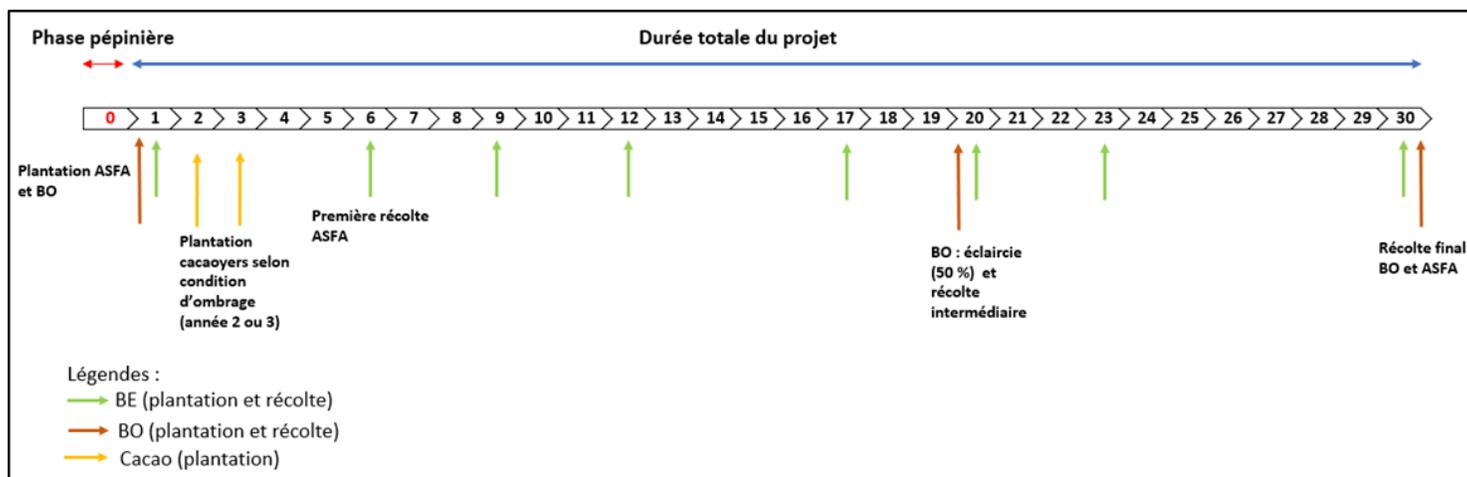


Figure 4: Echancier prévisionnel Option A (Guyane Forest Initiative)

- Option B : Mélange Bananier/Papayer proposition d'un itinéraire rentrant dans le cadre d'éligibilité

Nombre de plants prévisionnel option B (Alternance de cycle de 3 ans banane et papaye, avec au début du projet un cycle papaye) :

Catégorie	Nom commun	Densité plants (arbre/ha)	% répartition	Nombre / ha
BO	Cèdre Sam	1142	4,17%	48
	Bagasse	1142	4,17%	48
ASFA	Inga	1142	25,00%	286
	Clitoria	1142	25,00%	286
	Gliricidia	1142	25,00%	286
Fruitier	Papayer	1142	12,50%	143

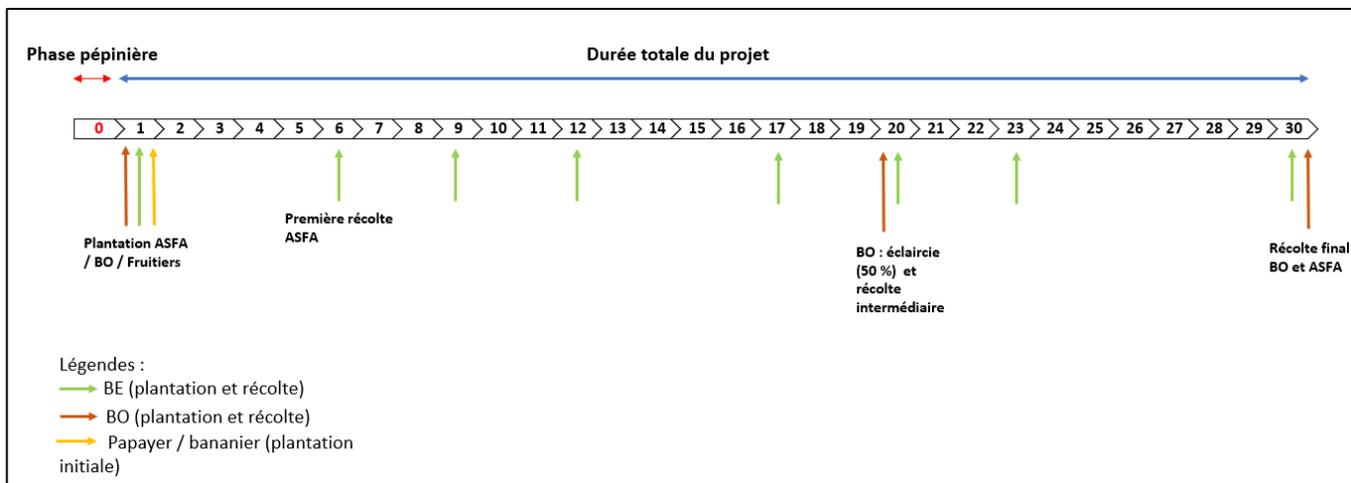


Figure 5: Échéancier prévisionnel Option B (Guyane Forest Initiative)

Les éclaircies devront être réalisées telles que mentionnées sur l'échéancier prévisionnel avec une latitude de +/- 2 ans.

2.3 Les porteurs de projets

Un projet est porté par un porteur de projet, personne physique ou morale responsable d'un projet de réduction des émissions de GES. Il s'agit,

- soit d'un porteur de projet individuel, propriétaire du foncier,
- soit d'un mandataire dont la gestion du projet lui a été confié via un mandat par une personne propriétaire du foncier.

Le mandataire est autorisé à déposer un projet collectif. C'est-à-dire qu'il est en mesure d'agrèger plusieurs projets individuels.

Le porteur de projet assurera:

1. De faire réaliser les études préalables de zonage agroécologique
2. De la bonne conduite du cahier des charges de plantation
3. Du suivi du développement des plantations jusqu'à vérification

2.4 Procédure et vie d'un projet

Le Porteur de Projet fait une demande de validation de son projet en suivant les étapes suivantes :

- 1) **Notification** – Le Porteur du Projet notifie à l'Autorité son intention de bénéficier du Label selon la Méthode « Restauration de terres agricoles dégradées » (les réductions d'émissions engagées antérieurement à cette notification ne seront pas prises en compte). Le Porteur du Projet utilise le formulaire prévu par la Méthode à cet effet. La Notification fait l'objet d'un accusé de réception de l'Autorité. La Notification ne vaut pas demande de validation du Projet.

- 2) Demande de validation du Projet** – Le Porteur du Projet notifie à l’Autorité que son dossier (DDP) est complet et prêt à être instruit. Le DDP se remplit sur la plateforme Démarches simplifiées de façon dématérialisée et celui-ci s’assure que le projet est en adéquation avec les éléments demandés par la Méthode et que le Porteur de Projet est en capacité de le développer et d’en assurer le suivi.
- 3) Instruction et Validation du projet** – Elle est effectuée par l’Autorité. L’Autorité peut adresser une liste de questions et de demandes d’ajustements et de compléments au Porteur de Projet, auquel cas le délai d’instruction du Projet ne commence à courir qu’à la réception des réponses. L’Autorité, informe le Porteur de Projet de sa décision. Les réponses négatives (non-labellisation) sont motivées et notifiées au Porteur du Projet. Si la réponse est positive, le Projet est inscrit sur la Page d’enregistrement des Projets.
- 4) Suivi et Vérification** - Lorsque le Porteur de Projet souhaite se voir reconnaître des réductions d’émissions, soit 5 ans après la réalisation de la plantation, il adresse une demande formelle à l’Autorité, accompagnée :
- d’un Rapport de suivi, qui indique la quantité de réductions générées et donne les indicateurs définis pour le Projet
 - d’un Rapport de Vérification réalisé par un Auditeur choisi par le Porteur de Projet
 - des éléments utiles pour démontrer que l’Auditeur choisi est indépendant, impartial

2.5 Sélection des sources/puits et compartiments à prendre en compte

Le bénéfice attendu de ces projets est la restauration de terres agricoles dégradées par le biais d’ASFA, le maintien d’une production agricole par la mise en place d’une culture fruitière et la diversification via l’installation de bois d’œuvre. Les agriculteurs tirent parti du diagnostic initial par le biais du zonage agro écologique, condition d’éligibilité du projet, et d’une sensibilisation aux pratiques agro-écologiques qu’ils pourront poursuivre à la fin du processus de restauration.

Ce processus de restauration engendre une atténuation des émissions de gaz à effet de serre. À l’instar des méthodes forestières, les compartiments pour la quantification du carbone retenus sont les suivants :

- Biomasse aérienne ;
- Biomasse racinaire ;
- Litière ;
- Carbone organique du sol.

Cette Méthode préconise l’intégration systématique des réservoirs de la biomasse aérienne et racinaire de la strate arborée (les autres strates pourront être négligées). Les réservoirs de la litière et du sol seront pris en compte. L’inclusion du stockage du carbone dans les produits bois espérés, les effets de substitution à des produits ou énergies plus émetteurs que le bois et les effets de substitution des arbres de services fixateurs d’azote (ASFA) à des engrais sont facultatifs. Les gaz à effet de serre (GES) dus à l’exploitation des arbres seront négligés.

Tableau 2 - Les puits et sources de carbone à inclure selon les compartiments. (RE = réduction d'émission, GES= Gaz à effet de serre)

Source/Puits	Type de RE	GES	Obligatoire/Optionnel/Exclu
Séquestration de carbone dans la biomasse aérienne	Anticipées	CO ₂	Obligatoire
Séquestration de carbone dans la biomasse racinaire	Anticipées	CO ₂	Obligatoire
Séquestration de carbone dans la litière	Anticipées	CO ₂	Obligatoire
Séquestration de carbone dans le sol	Anticipées	CO ₂	Obligatoire
Séquestration de carbone dans les produits bois	Anticipées	CO ₂	Optionnel
Substitution à des produits ou énergies plus émetteurs que le bois	Indirecte	CO ₂ , CH ₄	Optionnel
Substitution à des engrais azotés	Indirecte	CO ₂ , NO ₂	Exclu

3 CRITÈRES D'ÉLIGIBILITÉ

Cette partie détermine les éléments à fournir pour être éligible. Si une des conditions susmentionnées n'est pas justifiée ou satisfaite lors du dépôt de dossier pour instruction ou en phase de vérification du projet à t+5 années, celui-ci sera rejeté par l'Autorité. Le Porteur de projet pourra corriger ou compléter son dossier avec les éléments manquants et faire un nouveau dépôt.

3.1 Éligibilité du projet via zonage agroécologique

Pour rappel les trois critères retenus pour l'éligibilité des parcelles à la méthode sont les suivants:

1. La qualification d'un état de dégradation du sol basé sur le zonage agroécologique (voir 3.1)
2. Dans le cas de parcelles ayant fait l'objet de défriche, seules les défriches réalisées avant le 31 décembre 2020 seront éligibles
3. Le maintien d'une production alimentaire à minima égale à ce qui était réalisé avant projet.

Pour de justifier de l'état de dégradation des terres et définir l'itinéraire technique adéquat, il est nécessaire de réaliser un zonage agro écologique (Annexe 3) par un organisme scientifique et technique reconnu compétent. Le zonage agroécologique s'appuie sur l'étude des caractéristiques écologiques, morphologiques et édaphiques¹ du milieu. L'ensemble des analyses

¹ liées à la nature du sol

terrains ainsi que les échantillons de sols « témoins » prélevés sur des parcelles non perturbées permettront à l'organisme technique de se prononcer sur l'état de dégradation d'une parcelle.

« La **dégradation des sols** est définie comme un **changement dans l'état de santé du sol qui entraîne une diminution de la capacité de l'écosystème à fournir des biens et services pour ses bénéficiaires**. Les sols dégradés sont dans un état de santé tel qu'ils ne fournissent pas les biens et services habituels du sol dans son **écosystème**. » (FAO, 2023)²

Ce zonage se décompose en deux étapes :

- i. Recensement des données existantes : Cette première étape se base sur l'analyse de tous les documents disponibles permettant de caractériser le territoire d'étude : Réseau hydrique, bassin versant, cartes pédologiques, cartes géologiques, données topographiques (type modèle numérique de terrain MNT, cartes IGN, images satellites, etc.), zones d'intérêt écologique (ZNIEFF) et couches des différents habitats écologiques.
- ii. Réalisation de mesures sur le terrain et en laboratoire : Un plan d'échantillonnage du sol (à minima 1 échantillon /ha) est ensuite réalisé en vue de son analyse sur le terrain et en laboratoire. Les paramètres étudiés sont les suivants :
 - Profondeur utile du sol
 - L'hydromorphologie (la saturation en eau du sol)
 - La composition physique du sol
 - La composition chimique du sol
 - La composition biologique du sol

Les différentes parcelles sont analysées individuellement. Pour chaque parcelle, les informations suivantes sont indiquées :

- **Une carte d'étude du terrain** avec les points d'échantillonnage et les différents types d'occupation du sol (forêts, friches, zones défrichées, parcelles exploitées)
- **Des photos** caractéristiques de la parcelle et du sol
- **Les résultats des analyses chimiques, physiques et biologiques du sol** sont ensuite présentés avec trois tableaux. Chacun des tableaux est accompagné d'une synthèse des résultats
- **La carte des résultats** avec les zones exploitables et non exploitables (hydromorphie, pente à plus de 30%, chablis, un indice de la qualité globale des sols (qualité agronomique, faible / moyenne / forte) ainsi que leur état de dégradation
- **Descriptif par parcelle**, description de l'état actuel de la parcelle afin de définir le scénario de référence (enrichissement ou poursuite de culture), ainsi qu'une estimation des rendements à l'instant t en cas de culture en place.
- **Remarques et conclusion** sur les résultats d'analyse de la parcelle
- **Préconisations** sous forme de liste des méthodes existantes permettant d'améliorer ses pratiques et ses choix d'itinéraires techniques.

² <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/fr/#:~:text=La%20d%C3%A9gradation%20des%20sols%20est,et%20services%20pour%20ses%20b%C3%A9n%C3%A9ficiaires>.

- **Signature** par un centre technique & scientifique public ou privé local

Le projet est éligible lorsqu'un organisme scientifique et technique reconnu compétent constate un état de dégradation sur une parcelle donnée. Les organismes reconnus compétents sont :

- SOLICAZ
- L'UMR EcoFoG
- CIRAD
- L'IRD
- L'ONF
- tout autre organisme qui est reconnu comme compétent par les autorités administratives.
-

Le choix de s'orienter vers la méthode « restauration de terres agricoles dégradées » relève du propriétaire de la parcelle.

Dans le cas d'une parcelle où l'activité agricole était présente (même de façon dégradée), le projet devra maintenir a minima au même niveau cette activité. Les cultures fruitières devront permettre une production de biomasse alimentaire avec projet de restauration au moins égale à celle sans projet de restauration.

Le rendement de la parcelle avant projet sera estimé dans le cadre du zonage agroécologique.

4 CHOIX DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE ET DÉMONSTRATION DE L'ADDITIONNALITE

4.1 Choix du scénario de référence

Le référentiel du label Bas-Carbone définit le scénario de référence (III.C.1) :

« *Le scénario de référence doit correspondre à une situation au moins aussi défavorable que l'application :*

- *des obligations découlant des textes législatifs et réglementaires en vigueur ;*
- *des différentes incitations à générer des réductions d'émissions qui existent, autres que celles découlant du Label. Il s'agit notamment des incitations économiques, quelles qu'en soit l'origine ;*
- *des pratiques courantes dans le secteur d'activité correspondant au Projet, à l'échelle nationale ou régionale selon ce qui est pertinent. La Méthode précisera comment ces pratiques ont été déterminées, en se limitant aux données disponibles à la date du dépôt de la demande d'approbation. »*

Cette méthode ne s'intéresse qu'à des parcelles qui ont déjà fait l'objet d'un défrichement agricole et dont l'état de dégradation est démontré par le zonage-agro-écologique. Deux scénarios de références sont ensuite envisageables :

- i. La parcelle a été abandonnée, car son état de dégradation a conduit à une diminution ou un arrêt de productivité importante. Le scénario de référence est alors l'enfrichement.
- ii. La parcelle, malgré son état de dégradation, continue d'être exploitée. Le scénario de référence est alors la poursuite de culture agricole.

L'état de dégradation de la parcelle est à justifier par le zonage agro-écologique. Des photographies (à minima 2) devront être prises pour justifier du choix du scénario de référence.

Afin de distinguer un état de forêt d'un état d'enfrichement il convient de définir ce terme. Un état de forêt est défini par "une étendue de plus de 0,5 hectare caractérisée par un peuplement d'arbres d'une hauteur supérieure à 5 mètres et par un couvert forestier de plus de 10%, ou par un peuplement d'arbres pouvant atteindre ces seuils in situ, à l'exclusion des terres dédiées principalement à un usage des terres agricole ou urbain".³

4.2 Démonstration de l'additionnalité

Le référentiel du label Bas-Carbone définit l'additionnalité (III.C.1) : « *Pour démontrer l'additionnalité des réductions d'émissions, la Méthode définit un scénario de référence. Seules les réductions d'émissions allant au-delà de ce scénario de référence sont reconnues dans le cadre du Label.* »

L'additionnalité réglementaire consiste à démontrer que le projet va au-delà des obligations légales et des pratiques courantes et qu'en l'absence de participation d'un financeur, via l'achat de réductions d'émissions certifiées, les réductions d'émissions n'auraient pas eu lieu.

4.2.1 Additionnalité réglementaire

Il n'existe pas à ce jour d'aides publiques pour la restauration de terres agricoles dégradées. Le projet est de fait additionnel au regard des aides publiques existantes. En cas d'apparition d'aides publiques applicables à ces projets une mise à jour de la méthode sera à prévoir.

4.2.2 Additionnalité économique

Pour éviter les effets d'aubaine, il convient d'effectuer une démonstration financière de l'additionnalité, autrement dit il faut démontrer que le projet de restauration n'est pas la solution la plus rentable par rapport au scénario de référence. Deux options se présentent :

- Option 1 : Le Porteur de projet ne fait pas d'analyse économique. Un rabais de 40% est alors appliqué.
- Option 2 : Un calcul de la valeur actualisée nette (VAN) est réalisé sur la durée du projet de restauration soit 30 ans. Le porteur de projet pourra opter pour le scénario de référence à l'échelle du projet, soit l'enfrichement ou la poursuite de la culture. Ainsi pour démontrer l'additionnalité économique du projet, la restauration de terres agricoles dégradées par le biais de fixateurs d'azote devra avoir une rentabilité plus faible que le scénario de référence.

L'additionnalité économique sera démontré si $\Delta VAN < 0$. Avec :

³ FRA 2015 Termes des définitions FAO

$$\Delta VAN = VAN_{\text{plantation}} - VAN_{\text{culture}} \text{ ou } \Delta VAN = VAN_{\text{plantation}} - VAN_{\text{enrichement}}$$

Avec $VAN_{\text{plantation}}$, VAN_{culture} , enrichement = Bilan financier resp. des scénarios de plantation, d'une culture ou d'un enrichissement décrits resp. par les équations ci-dessous :

Bilan financier d'un enrichissement:

$$VAN_{\text{enrichement}} = \frac{V_f \times P}{(1+r)^{V_f/AM}} \times 1,3$$

Équation 1

Avec :

- VAN = valeur actualisée nette (en €) ;
- V_f = volume commercialisable à l'âge de la coupe (en m^3) ;
- P = prix moyen du m^3 de bois à l'âge de la coupe (en €/m³) ;
- n = année de la coupe ;
- AM = accroissement moyen (en $m^3/ha/an$) ;
- r = taux d'actualisation fixé par défaut à 7,7 % ;

(Le taux d'actualisation en Guyane est supérieur au taux en métropole; le document https://www.iedom.fr/IMG/pdf/2020050038-168pages_iedom.pdf indique que le cout de financement est environ 70% plus élevé en Guyenne, donc prendre un taux d'actualisation de $4,5\% \times (1,7) = 7,7\%$ semble pertinent)

1,3 = coefficient moyen d'ajustement pour les revenus des éclaircies.

Bilan financier d'une plantation:

$$VAN_{\text{plantation}} = \sum_{n=0}^R \frac{R_n - C_n}{(1+r)^n}$$

Équation 2

Avec :

- VAN = valeur actualisée nette (en €) ;
- R_n = recettes liées au projet (en €). Elles concerneront la vente des bois issus des éclaircies jusqu'à la coupe finale ;
- C_n = dépenses liées au projet de plantation (en €). Cela comprend le broyage éventuel, l'achat des plants, l'opération de plantation, les dégagements des plants, les coûts liés aux éclaircies...
- r = taux d'actualisation fixé par défaut à 7,7 % ;
- R = durée du projet de restauration de terres agricoles dégradées, soit 30 ans.

Bilan financier d'une exploitation agricole :

$$VAN_{\text{culture}} = B \times (1/r)$$

Équation 3

Avec :

- VAN = valeur actualisée nette ;
- B = marge nette moyenne sur les cinq dernières années de l'exploitation agricole précédant la plantation;
- r = taux d'actualisation fixé par défaut à 7,7 %.
- NB : Les aides publiques auxquelles le Porteur de projet serait éventuellement éligible devront être intégrées dans les calculs économiques des VAN.

5 INTÉGRITÉ ENVIRONNEMENTALE

Conformément au référentiel du label Bas-Carbone, la Méthode doit fournir une « grille d'évaluation des impacts et des co-bénéfices, socio-économiques et environnementaux, notamment sur la biodiversité » (partie III.B) et définir « des indicateurs simples pour démontrer que les éventuels impacts environnementaux, sociaux ou économiques sont maîtrisés » (partie III.F).

Les Porteurs de projet se référeront à la grille d'analyse présente dans le tableau 4 et qui répertorie quatre niveaux de co-bénéfices : socio-économiques, sur la préservation des sols, sur la biodiversité et sur l'eau. Cette grille regroupe des actions pouvant valoriser des co-bénéfices, avec un système de bonus pouvant rapporter au projet entre 1 et 5 points.

Les enjeux « socio-économique », « protection des sols » et « biodiversité » concernent tous les projets. En revanche, l'enjeu « eau » n'est pas systématique ; une plantation sur une parcelle ne figurant à proximité d'aucun captage d'eau potable ni de cours d'eau ou zone humide (dans un rayon de 50m autour de la parcelle) ne pourra pas valoriser ce co-bénéfice. Par conséquent, si la parcelle n'est pas concernée par l'enjeu « eau », on ne lui affectera pas une note de 0 (qui laisserait sous-entendre que le projet ne valorise pas ce co-bénéfice alors qu'il n'est pas concerné) et ce co-bénéfice sera retiré. Seul le co-bénéfice « eau » peut être concerné par ce retrait, les autres sont forcément toujours évaluables, quand bien même ils obtiennent une note de 0.

Les totaux devront être effectués au niveau de chacune de ces quatre catégories. Il n'y aura pas lieu d'additionner les totaux des quatre catégories de co-bénéfices ; cette somme n'aurait aucune signification.

Pour chaque catégorie de co-bénéfice, le Porteur de projet peut proposer des co-bénéfices supplémentaires inhérents à son projet ; chaque co-bénéfice ajouté ne rapporte qu'un seul point. Un maximum de deux co-bénéfices supplémentaires pour chacune des quatre catégories est accepté.

Lorsque le Porteur de projet fera le sous-total potentiel au niveau de chaque co-bénéfice, il conviendra d'additionner les valeurs maximales potentiellement atteignables. La performance du projet pour chaque co-bénéfice pourra ainsi être évalué par rapport à ce potentiel maximal. Attention : certains co-bénéfices ont deux notes possibles : par exemple + 3 ou + 2, qui sont exclusives. Il conviendra ainsi de ne pas les sommer.

Ces co-bénéfices seront suivis et vérifiés, comme indiqué par la partie III.F. du référentiel : « les indicateurs sont communiqués à l'Autorité dans le rapport de suivi et font l'objet de vérifications par un Auditeur à l'occasion des vérifications de réductions d'émissions ». Par conséquent, le Porteur de projet devra avoir en tête que chaque co-bénéfice ajouté devra être facilement vérifiable par l'Auditeur qui réalisera la vérification (partie 9), au risque d'engendrer un surcoût qu'il devra supporter financièrement au moment de la vérification.

Tableau 4: Grille d'évaluation des co-bénéfices sociaux, économiques et environnementaux avec bonus afférents.

N°	Type de co-bénéfice	Intitulé	Critère d'évaluation	Valeur du bonus
1	Socio-économique	Intégration à un réseau de producteur	Le porteur de projet fait partie d'une association d'agriculteur qui fait la promotion de pratiques basées sur l'agroforesterie ou l'agroécologie	1pt
2		Accès à la formation	Le porteur de projet a suivi des formations sur la fertilité des sols, les pratiques agro-écologiques, et la défriche faible impact	2pt
3		Certification	Le porteur de projet est engagé dans une agriculture biologique (label AB)	5pt
4	Préservation des sols	Préparation du sol	Préparation du sol en bandes	2pt
5		Préparation du sol	Préparation du sol par potets travaillés	4pt
6		Utilisation des plantes de services herbacées	Implantation de plantes de services herbacées sur plus de 50% de la surface (limitant les risques d'érosion, protégeant le développement des arbres fixateurs d'azote et créant un mulch épais qui limitera l'apparition d'espèces concurrentes).	4pt
7		Indicateur de suivi de la qualité des sols	Voir description ci-dessous	5pt
8	Biodiversité	Introduction à la biodiversité	Plantation avec 3 essences (pour au moins un type (ASFA, BO ou fruitiers). (Pas d'espèces exogènes à moins de prouver leurs caractères non invasifs)	5pt
9		Introduction à la biodiversité	Plantation avec 2 essences (pour au moins un type (ASFA, BO ou fruitiers). (Pas d'espèces exogènes à moins de prouver leurs caractères non invasifs)	1pt

10		Favoriser les pollinisateurs	Introduction de ruches sur la parcelle de plantation	3pt
11		Indicateur de suivi de la restauration d'un cycle sylvigénétique	Voir description ci-dessous	5pt
12	Eau	Qualité de l'eau	Plantation en périmètre de protection rapproché (PPR) ou éloigné (PPE) de captage d'eau	5pt

Une conversion des bonus en pourcentage sera à faire pour chaque projet pour chaque type de co-bénéfice. Dans le cas de projet collectif une moyenne pondérée par la surface sera réalisée par type de co-bénéfice.

Afin d'obtenir des points supplémentaires, le porteur de projet pourra utiliser les indicateurs de suivis détaillés ci-dessous.

- **Indicateur de suivi de la qualité des sols (5 points)**

Ce diagnostic vise à dresser un bilan qualitatif des impacts de pratiques agroécologiques sur les sols grâce à l'utilisation d'analyses appropriées. Des analyses physico-chimiques (notamment la teneur en matière organique (MO) *via* la mesure du C total du sol) seront couplées à des analyses biologiques des sols. Ces dernières caractérisent les fonctions microbiennes du sol qui représentent les valeurs les plus intégratives de la connaissance de la qualité du sol. En effet, les processus microbiens du sol sont les bio-indicateurs les plus pertinents de la qualité des sols et de leur fertilité (Ritz et al. 2009, Bastida et al. 2008). De plus, par la rapidité d'adaptation et de réaction aux changements, les mesures des capacités métaboliques des micro-organismes peuvent rendre compte, avant tout autre indicateur des modifications de l'état d'un sol. Cela a déjà été démontré sur de la restauration écologique sur site minier (Schimann et al. 2012). Les fonctions ciblées, basées sur les cycles du carbone et de l'azote, sont la respiration et la dénitrification des sols. Trois types d'activités microbiennes sont mesurées : **la respiration basale et potentielle (SIR)** et **la dénitrification potentielle (DEA)**. Ces trois types d'activités sont ensuite utilisés pour la construction de bio-indicateurs microbiens de la qualité des sols (un couplage avec des mesures de C total du sol est nécessaire pour la construction de certains indicateurs).

Ainsi il est possible de déterminer la qualité d'un sol en mesurant sa biomasse microbienne totale active du sol, sa diversité microbienne, et son potentiel de stockage du C :

- **La Biomasse microbienne active du sol (MBC)** estimée à partir de l'activité respiratoire potentielle sol (Anderson et Domsch, 1978); utilisée en contexte tropical par Couic *et al.* (2018) :

La masse de carbone contenu dans les micro-organismes en fonction de la respiration potentielle

$$MBC = 40.04 * SIR + 0,37 \quad R^2 = 0,96$$

MBC : masse de C contenue dans les microorganismes vivants du sol (en µg de C-biomasse.g⁻¹ de sol)

SIR : activité respiratoire potentielle du sol (en µL de CO₂.g⁻¹ de sol.h⁻¹).

-Anderson J.P.E. et Domsch K.H. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3). DOI : 10.1016/0038-0717(78)90099-8 ;

-Couic E., Grimaldi M., et al. 2018. Mercury behaviour and C, N, and P biogeochemical cycles during ecological restoration processes of old mining sites in French Guiana. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(4). DOI : 10.1039/C8EM00016F

- **Le Ratio DEA/SIR.** Ce ratio, mesuré en conditions potentielles, est un indicateur de la proportion de dénitrifiant au sein de la communauté microbienne totale du sol (Schimann *et al.* 2012) (Michalet *et al.*, 2013) et un proxy de la diversité microbienne du sol (Philippot *et al.*, 2013). Il est corrigé par un facteur lié à la stœchiométrie des réactions aérobies et anaérobies de dégradation du glucose suivant l'équation :

Ratio DEA-SIR corrigé

$$- \text{Ratio } DEA - SIR \text{ cor} = \frac{DEA}{SIR} \times \frac{DEA}{CO_2 \text{ prod}}$$

- Sans dimension

DEA : dénitrification potentielle (en µg de N-N₂O. g⁻¹ de sol.h⁻¹)

SIR : activité respiratoire potentielle (en µg de C-CO₂.g⁻¹ de sol.h⁻¹)

CO₂ prod : quantité de CO₂ produite pendant la dénitrification (en µg de C-CO₂.g⁻¹ de sol.h⁻¹)

- Schimann, H., Petit-Jean, C., Guitet, S., Reis, T., Domenach, A.M. and Roggy, J.-C. (2012) Microbial bioindicators of soil functioning after disturbance: The case of gold mining in tropical rainforests of French Guiana. *Ecological Indicators* 20, 34-41.

-Michalet S., Rohr J., Warshan D., Bardon C., Roggy J.-C., Domenach A.-M., Czarnes S., Pommier T., Combourieu B., Guillaumaud N., Bellvert F., Comte G., et Poly F. 2013. Phytochemical analysis of mature tree root exudates in situ and their role in shaping soil microbial communities in relation to tree N-acquisition strategy. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.05.003

-Philippot L., Spor A., Hénault C., Bru D., Bizouard F., Jones C.M., Sarr A., et Maron P.-A. 2013. Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. *The ISME Journal*, 7(8). DOI : 10.1038/ismej.2013.34

- **Le quotient respiratoire journalier (*qCO₂*) traduit la capacité des microorganismes à intégrer le C de la MO dans leur biomasse. Il s'obtient suivant l'équation :**

Quotient respiratoire journalier (d'après Ouedraogo et al., (2017))

$$qCO_2 = \frac{Respi_{basale} \times 24[\text{heure}]}{MBC}$$

qCO₂ : quotient respiratoire journalier (en mg de C-CO₂.g⁻¹ de C-biomasse)

Respi_{basale} : respiration basale (en µg de C-CO₂.g⁻¹ de sol.h⁻¹)

-Ouedraogo et al. 2017. La macrofaune du sol améliore l'efficacité de l'utilisation de l'énergie par les microorganismes *J. Appl. Biosci.* 114: 11345-11356

- **Le quotient microbien (QM)** est le rapport entre le C contenu dans la biomasse microbienne et le C contenu dans le sol. Il informe sur la disponibilité du C du sol pour permettre d'entretenir et d'augmenter la biomasse des microorganismes. Il s'obtient suivant l'équation :

Quotient microbien (d'après Rui *et al.* (2016))

$$QM = \frac{MBC}{1000 \times Teneur\ en\ C} \times 100$$

QM : quotient microbien (en %).

-Rui Y., Murphy D.V., Wang X., et Hoyle F.C. 2016. Microbial respiration, but not biomass, responded linearly to increasing light fraction organic matter input: Consequences for carbon sequestration. *Scientific Reports*, 6(1). DOI : 10.1038/srep35496

L'analyse conjointe du quotient respiratoire et du quotient microbien permet d'explorer l'**Efficiences microbienne d'Utilisation du Carbone (CUE)** (Blagodatskaya *et al.*, 2014) qui définit comment les décomposeurs équilibrent les réactions anaboliques et cataboliques du C.

Une faible CUE implique des pertes de C relativement importantes (par respiration) et moins de C converti en biomasse, **réduisant finalement le potentiel de séquestration à long terme du C dans les sols.** (Blagodatskaya -E., Blagodatsky S., Anderson T.-H., et Kuzyakov Y. 2014. *Microbial Growth and Carbon Use Efficiency in the Rhizosphere and Root-Free Soil. PLoS ONE*, 9(4). DOI : 10.1371/journal.pone.0093282)

- **Le taux de minéralisation global (TMG)** est un indicateur de la vitesse de minéralisation de la MO par les microorganismes et donc de sa qualité (Ouedraogo *et al.*, 2017). Il s'obtient suivant l'équation :

Taux de minéralisation globale (adapté de Ouedraogo *et al.* (2017))

$$TMG = \frac{Respi_{basale}}{1000 \times Teneur\ en\ C} \times 100$$

TMG : taux de minéralisation global (pourcents.h⁻¹)
Teneur en C : teneur en C du sol (en mg de C.g⁻¹ de sol).

Nombre d'analyses de biomasse microbienne : 5 échantillons composites /ha .
Nombre d'analyses chimique des sols : 1 échantillon composite /ha.

Les échantillons composites sont établis à partir de matière provenant de plusieurs points de prélèvement. En d'autres termes, un échantillon composite est issu du mélange d'une série d'échantillons ponctuels prélevés conformément à une stratégie d'échantillonnage préétablie.

- **Indicateur de suivi de la restauration d'un cycle sylvigénétique (5 points)**

Le protocole de suivi de reprise du cycle sylvigénétique s'appuie sur les indicateurs faune (fourmis) et un recensement de la flore présente sur site.

Protocole fourmis : Le protocole couramment utilisé dans l'échantillonnage des fourmis de la litière combine l'utilisation de pièges « pitfall » (piège à fosse) et « winkler » (tamisage de la litière). L'absence de litière dans les sites mis à nu par l'exploitation rend inutile tout tamisage de

litière en l'absence de celle-ci. L'option choisie est donc celle de l'utilisation de piège « pitfall » qui permet de capturer une fraction représentative de la diversité, bien que non exhaustive. Ces pièges sont aussi indépendants de la personne qui le réalise et utilisés selon un protocole standardisé qui permet une comparaison fiable entre sites.

- Deux parcelles suivies,
- 2 zones échantillonnées par parcelle
- 3 placettes par zone échantillonnée + 3 répliqua, un pour chaque placette
- Pour chaque placette, 20 gobelets de piégeage espacés de 10 mètres chacun
- Les gobelets sont enterrés au ras du sol, et remplis avec un mélange d'eau et de savon noir
- Les gobelets sont laissés 72h
- Au bout de 72h, récupération des insectes piégés, conditionnement dans de l'éthanol 96° et envoi au laboratoire pour tri morphologique et identification
- Une fois les contenus de piégeage récupérés, la première étape consiste au tri des fourmis et des autres arthropodes.
- Les fourmis sont ensuite triées à la morpho espèce sous une loupe binoculaire, puis identifiées à un niveau taxonomique le plus précis possible (espèce ou genre) à partir des ressources taxonomiques existantes et de la collection de référence présentes à EcoFoG.

Protocole diversité floristique : le botaniste procédera à des relevés floristiques via des stations d'échantillonnage de 25 m² x 3 placettes/ha. Sur ces parcelles, en plus des inventaires à l'espèce, plusieurs paramètres seront relevés : la densité par espèce, hauteur de la végétation, le diamètre maximal. Pour espèces inventoriées, seront indiqués leur type (herbacée, plante aquatique, liane, arbuste, arbre, palmier, ...), leur trait écologique de développement et leur origine (Rudérale, pionnière, forestière, exogène au site, plantation). L'occurrence des strates de végétations (herbacée, arbustifs, arborées) seront noté pour chaque parcelle. Une correspondance avec la liste des formations végétales de Guyane, établie par Hoff en 2000, sera faite à afin d'évaluer l'intérêt de ces formations. De même, une bio-évaluation de l'intérêt patrimonial des espèces inventoriées sera effectuée. La richesse spécifique pourra ainsi être évaluée par site et par formation végétale.

Ces protocoles seront répétés avant réalisation des travaux, à n+5 année.

6 INTÉGRATION DU RISQUE DE NON-PERMANENCE

Conformément au label Bas-Carbone (V.B), le projet devra intégrer le risque de non-permanence ; c'est-à-dire le risque d'émissions de carbone imprévues : tempête, incendie, attaques sanitaires, dépérissement...

Le risque de non-permanence ne sera pas intégré dans les modèles de croissance de la biomasse, pour des raisons évidentes de complexité pour le Porteur de projet. La non-permanence sera prise en compte sous la forme de rabais pour chacun des risques identifiés.

6.1 Risque de dépérissement/inadéquation aux conditions édaphiques

Un des principaux risques concernant la plantation est l'installation d'essences non adaptées aux conditions édaphiques. Pour tenir compte de ce risque, il est dans l'intérêt du Porteur de projet de s'en prémunir. Une justification de l'adéquation de l'essence aux conditions édaphiques devra être apportée par le Porteur de projet. Cette justification sera réalisée en utilisant les analyses de sol effectuées lors du zonage agro-écologique ainsi que les connaissances existantes sur l'autoécologie des essences installées. Il s'agira du document n°10.

Aucun rabais ne sera pratiqué sur ce risque de non-permanence dans la mesure où le Porteur de projet doit effectuer cette justification préliminaire.

Cette justification est obligatoire.

6.2 Risques généraux, difficilement maîtrisables

Un certain nombre de risques de non-permanence sont généraux et difficilement quantifiables ou maîtrisables. Ils comprennent notamment les risques sanitaires (ravageurs, maladies...), les tempêtes, et une décision de d'arrachage des plantations anticipée liée ou non à ce type de catastrophe naturelle. Conformément à la partie V.B du référentiel du label Bas-Carbone, un rabais forfaitaire de **10 %**, correspondant à la fourchette basse de la gamme de 10 à 40 % observée dans les labels internationaux, est systématiquement appliqué pour prendre en compte ces risques.

6.3 Risque incendie

La partie de la Guyane concernée par le risque « feux de végétation » correspond à la bande côtière, sur une largeur de 10 à 50 kilomètres, le long du littoral guyanais, s'étendant du fleuve Oyapock à l'est au fleuve Maroni à l'ouest. (Préfet de la région Guyane, 2019)

Niveau de risque et nbre de feux par secteur						
STATION MÉTÉO	FAIBLE	LÉGER	MODÉRÉ	SÉVÈRE	TRES SEVERE	TOTAL
CAYENNE	4	4	60	27	0	95
MATOURY	0	6	24	26	0	56
KOUROU CSG	5	10	40	58	4	117
KOUROU PLAGE	3	3	36	29	0	71
MANA	1	1	50	21	0	73
SLM	0	3	9	17		29
						441 feux

Tableau 5: Bilan de la campagne de prévention et de lutte contre les feux de végétation 2019 - Préfet de la région de Guyane

Le risque étant en moyenne considéré comme modéré, un rabais de 10 % sera appliqué sur les réductions d'émissions potentiellement générables.

7 CALCUL DES RÉDUCTIONS GÉNÉRABLES

Conformément au label Bas-Carbone, le projet de restauration des terres agricoles délivre des réductions d'émissions (RE) anticipées et indirectes.

Leur définition est précisée dans le label Bas-Carbone. La communication du financeur quant au type de réductions d'émissions valorisé est précisée par le label Bas-Carbone (partie VIII.C du référentiel).

7.1 Calcul des réductions d'émission anticipées générables

L'équation 4 fournit les réductions d'émissions anticipées (REA) pour lesquelles il sera possible de demander une certification :

$$REA = REA_{\text{plantation (ASFA + BO)}} + REA_{\text{produits (ASFA + BO)}}$$

Équation 4

Avec :

$REA_{\text{plantation}}$ = réductions d'émissions anticipées par les arbres bois d'œuvre et les arbres fixateurs d'azote (voir 6.1.1.) ;

REA_{produits} = réductions d'émissions anticipées par le projet dans les produits bois (voir 6.1.2.).

NB : le Porteur de projet peut faire le choix de valoriser des $REA_{\text{plantation}}$ (sans REA_{produits}) ou des REA totales ($REA_{\text{plantation}} + REA_{\text{produits}}$). En revanche, il ne peut pas valoriser uniquement des REA_{produits} .

7.1.1 REA générales du fait de la séquestration du carbone par la plantation

Les REA générées ne sauraient logiquement excéder la différence de stockage de carbone par rapport à une situation sans plantation, soit à l'issue de la durée du projet (c'est-à-dire au bout de 30 ans), soit sur la durée de vie moyenne des essences plantées. Afin d'être conservatif, la plus courte de ces deux durées doit être considérée, en tenant compte qu'un stock élevé juste avant une coupe n'est pas représentatif. Pour le calcul des REA potentiellement générables, le calcul s'effectuera donc selon la « méthode du stock moyen de long terme » (Verra, 2011). Il s'agira d'estimer pour chaque année du projet une différence de séquestration nette selon l'équation 5.

- 1) Pour tout projet de restauration dont la révolution R de l'essence plantée est supérieure ou égale à 30 ans, l'équation 5 sera utilisée :

$$REA_{\text{plantation}} = \min \left(\Delta S(30), \frac{1}{R} \times \sum_{n=0}^R S_{\text{projet}}(n) - \frac{1}{R'} \times \sum_{n=0}^{R'} S_{\text{réf}}(n) \right)$$

Équation 5

Avec :

- $\Delta S(30)$ = différence de stock de carbone à l'année 30 entre le scénario de projet et le scénario de référence, égal à $S_{\text{projet}}(30) - S_{\text{réf}}(30)$;
- $S_{\text{projet}}(n)$ le stock de carbone dans les compartiments plantation du scénario de projet en année n ;
- $S_{\text{réf}}(n)$ = le stock de carbone dans les compartiments du scénario de référence en année n ;
- R = la durée de révolution de l'essence de projet (dans la plupart des cas, $R > 30$ ans) ;

- R' = la durée de révolution de l'essence du scénario de référence (dans la plupart des situations d'enrichissement par des accrus, $R' > 30$ ans). Si l'âge d'exploitabilité des accrus n'est pas connu, on appliquera le même âge que pour le scénario de projet, par conséquent $R = R'$.

Dans tous les cas, le stock de carbone annuel présent dans les différents compartiments pour la restauration objet du projet se calcule grâce à l'équation 7 :

$$S_{projet}(n) = [(B_A(n) + B_R(n)) \times \tau_c + S(n) + L(n) + M(n)] \times \frac{44}{12}$$

Équation 7

Avec :

- S_{projet} = Stock de carbone total de l'écosystème forestier (en tCO₂) ;
- B_A = Stock de la biomasse aérienne (en tMS) (voir 8.1.1.) ;
- B_R = Stock de la biomasse racinaire (en tMS) (voir 8.1.2.) ;
- S = Stock de carbone organique du sol (en tC) (voir 8.1.4.) ;
- L = Stock de la litière, constante égale à 10 tC/ha (voir 8.1.5.) ;
- M = Stock de bois mort, constante = 0 (voir 8.1.6.) ;
- τ_c = Taux de carbone dans la matière sèche, constante égale à 0,475 tC/tMS (voir 7.1.3.).

$S_{réf}$ est calculé soit avec l'équation 7 si la situation de référence est un embroussaillage, soit conformément au paragraphe 7.2 si la situation de référence est une exploitation agricole.

7.1.2 REA générales du fait du stockage du carbone dans les produits bois récoltés

L'équation 8 fournit le calcul des réductions d'émissions anticipées relatives au compartiment des produits bois :

$$REA_{produits} = \sum_{n=0}^{30} (C_{projet}(n) - C_{réf}(n))$$

Équation 8

Avec :

- C_{projet} = le stock de carbone dans les produits bois qui seraient récoltés dans le scénario de projet (en tCO₂) ;
- $C_{réf}$ = le stock de carbone dans les produits bois qui seraient récoltés dans le scénario de référence (en tCO₂).

Il convient de déterminer le stock de carbone dans chaque catégorie de produits bois selon l'équation 9 :

$$C(n) = C_{SCI}(n) + C_{PAN}(n) + C_{PAP}(n)$$

Équation 9

Avec :

- $C(n)$ = stock total de carbone représenté par les produits bois à l'année n (en tCO₂) ;
- $CSCI(n)$ = stock de carbone des produits bois à destination du sciage (bois d'œuvre) à l'année n (en tCO₂) ;
- $CPAN(n)$ = stock de carbone des produits bois à destination des panneaux (bois d'industrie) à l'année n (en tCO₂) ;
- $CPAP(n)$ = stock de carbone des produits bois à destination de la pâte à papier (trituration) à l'année n (en tCO₂).

Les produits bois lorsqu'ils sont sciés puis valorisés vont prolonger le stockage du carbone. Le carbone dans les produits bois n'est pas une valeur constante : au cours des années, le bois va se dégrader et perdre le carbone stocké. Pour tenir compte de cette dynamique année après année, on se référera à l'équation 10 fournie par Pingoud et Wagner (2006) et reprise par la Commission européenne.

$$C(n+1) = e^{-k} \times C(n) + \frac{1 - e^{-k}}{k} \times Flux(n)$$

Équation 10

Avec :

- $C(n)$ = stock de carbone au début de l'année n dans les produits bois déjà récoltés (en tCO₂) ; $C(n+1)$ = stock de carbone au début de l'année $n+1$ dans les produits bois déjà récoltés (en tCO₂) ;
- $k = \ln(2)/t_{1/2}$ = constante de décomposition pour une décomposition du premier ordre (unité : an⁻¹) ;
- $t_{1/2}$ = temps de demi-vie des produits bois en années. Le temps de demi-vie étant le nombre d'années nécessaires pour perdre la moitié du carbone actuellement dans les produits bois ;
- $Flux(n)$ = flux entrant de carbone au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année $n+1$), c'est-à-dire le stock de carbone des produits bois récoltés (volume bois fort éclairci) au cours de l'année n (= 0 en l'absence d'éclaircie). $Flux(n)$ est exprimé en tCO₂.

La Commission européenne préconise d'utiliser les valeurs par défaut pour les temps de demi-vie ($t_{1/2}$) présentes dans le tableau 6.

Tableau 6: Valeurs des temps de demi-vie préconisées par la Commission Européenne.

Bois de sciage	Panneaux de bois	Papier
35 ans	25 ans	2 ans

Pour estimer les REA_{produits}, le Porteur de projet doit renseigner le volume bois fort issu de chaque éclaircie ou coupe, estimer leur répartition future probable en bois de sciage, panneaux bois et papier et y appliquer les temps de demi-vie afférents.

On considéra dans cette méthode que 34% du volume de bois produit par les arbres bois d'œuvre sera à destination de bois d'œuvre et 66% à destination de bois énergie.

Pour ce qui est des arbres fixateurs d'azote, 100% des produits seront à destination de bois énergie.

Aucune REA_{produits} n'est délivrée pour le bois énergie.

7.2 Calcul des réductions d'émissions indirectes générables

7.2.1 Calcul des réductions d'émissions indirectes générables par les produits bois

L'utilisation des produits bois de la plantation peut permettre des effets de substitution « matériau » et « énergie » supplémentaires par rapport au scénario de référence. Utilisé dans la construction à la place de matériaux énergivores (PVC, aluminium, béton, acier...), le bois peut générer un effet de substitution matériau. Utilisé à des fins énergétiques à la place d'énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz...) et dont l'extraction est émettrice de CO2 le bois peut induire un effet de substitution énergétique.

L'équation 11 indique comment calculer ces réductions d'émissions indirectes.

$$REI_{substitution} = CS \times \sum_{n=0}^{30} (Flux_{projet}(n) - Flux_{ref}(n))$$

Équation 11

Avec :

- CS = la substitution moyenne générée par un mètre cube de bois récolté en France (en tCO2/m3). Les valeurs à utiliser sont données dans le tableau 7 ;
- Flux_{projet} (n) = flux entrant issu des produits bois récoltés au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année n+1) dans le scénario de projet (en m3) ;
- Flux_{ref} (n) = flux entrant issu des produits bois récoltés au cours de l'année n (sur la période entre l'année n et l'année n+1) dans le scénario de référence (en m3).

En Guyane, la rotation des essences plantées pour la production de bois d'œuvre est estimée à 30 ans (ForesTreeCulture 1 & 2). On considéra qu'au terme de la restauration des terres dégradées (30 ans), l'intégralité des essences à destination de bois d'œuvre qui auront été plantées en accompagnement des plantes fixatrices d'azotes seront exploitées.

« Pour exemple, une parcelle plantée âgée de 30 ans et capitalisant environ 600 m3/ha de bois, produit 1/3 de bois d'œuvre après sciage, tandis que les connexes d'exploitation et les connexes de scierie représentent 2/3 du bois produit qui seront valorisés par la filière énergie. » (ForesTreeCulture).

On considéra dans cette méthode que 34% du volume de bois produit sera à destination de bois d'œuvre et 66% à destination de bois énergie.

Pour ce qui est des arbres fixateurs d'azote, 100% des produits seront à destination de bois énergie.

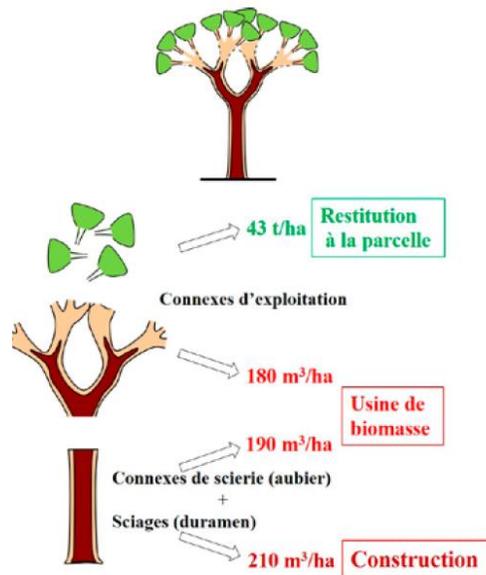


Figure 1: Répartition des produits bois- E. Nicolini (ForesTreeCulture 1)

Tableau 7: Les coefficients de substitution selon la catégorie de produits bois récoltés. Issus de la Méthode boisement.

Catégorie de produits bois	Durée de vie	Coefficient de substitution (tCO ₂ /m ³ de bois utilisé)
Bois d'œuvre (BO)	Formit (Valada et al., 2016)	1,52
Bois d'industrie (BI)	Formit (Valada et al., 2016)	0 pour le papier (44 % du BI) 0,77 pour les panneaux (56 % du BI)
Bois énergie (BE)	Dire d'expert (à partir de la valeur de l'Ademe en 2015)	Voir tableau ci-dessous

La valeur du facteur de déplacement du BE généralement utilisée est de 0,5 tCO₂ évitées par m³ de bois utilisé (Ademe, 2015). Toutefois, les politiques publiques actuelles (Programmation pluriannuelle de l'énergie et Stratégie nationale bas-carbone) visent à décarboner très fortement le mix énergétique français d'ici à 2050. Par conséquent, vers 2050, ce coefficient de substitution

sera davantage proche de 0 que de 0,5. Afin de prendre en compte cette évolution le coefficient on utilisera le tableau suivant :

Période	Coefficient de substitution BE
<2035	0,5
2036 < n < 2050	0,25
> 2050	0

En outre, les valeurs du tableau 7 pourront être révisées lors de prochaines revues de la méthode afin de tenir compte de la décarbonation croissante des autres secteurs économiques ; il suffira de citer les références scientifiques dont elles sont issues. Toutefois, le facteur en place au moment de la validation d'un DDP (en le cas de 0,5) sera conservé pour la vérification.

7.2.2 Calcul des réductions d'émissions indirectes générables dans le scénario de référence

Si le scénario de référence est un enrichissement de la parcelle, on admettra qu'il s'agit d'essences pionnières non valorisables. Par conséquent, il n'y aura pas d'autre effet de substitution joué par le bois dans le scénario de référence.

7.3 Calcul des réductions d'émissions de l'empreinte générables

Tel que l'indique la partie I.C.2 de l'arrêté, « les « réductions de l'empreinte » comprennent à la fois une part de réductions d'émissions classiques (réductions effectuées ou réductions anticipées) et une part de réductions d'émissions indirectes ».

Par conséquent, l'équation 13 permet de calculer les réductions d'émissions de l'empreinte (REE) :

$$REE = REA_{\text{plantation}} + REA_{\text{produits}} + REI_{\text{substitution}}$$

Équation 13

NB : les rabais indiqués dans cette Méthode doivent être appliqués aux $REA_{\text{plantation}}$, aux REA_{produits} et aux $REI_{\text{substitution}}$.

8 QUANTIFICATION CARBONE DES ITINÉRAIRES

8.1 Quantification générale du carbone

8.1.1 Estimation de la biomasse aérienne (BA)

Dans cette méthode 3 fonctions seront recherchées dans les arbres implantés :

- La fixation d'azote pour restaurer la fertilité des sols.
- Le maintien d'une production agricole via les arbres fruitiers.
- La production de bois d'œuvre pour diversifier les revenus et augmenter le stockage de carbone.

Pour comptabiliser la biomasse aérienne des ASFA, le porteur de projet se réfèrera à la biomasse aérienne annuelle (Aboveground biomass, AGB) issue de la littérature scientifique.

Pour comptabiliser la biomasse aérienne des arbres à vocation bois d'œuvre des territoires d'outre-mer il faudra utiliser l'équation allométrique de Chave et al (2014) :

L'équation 14 permet de calculer la biomasse aérienne par arbre.

$$AGB = 0,0673 \times (\rho \times D^2 \times H)^{0,976}$$

Équation 14

Avec :

- AGB = biomasse aérienne d'un arbre (kg/arbre) ;
- ρ = densité du bois spécifique (g.cm^{-3});
- D = diamètre de l'arbre (cm) ;
- H = hauteur totale de l'arbre (m)

Pour obtenir la biomasse aérienne à l'hectare il faudra utiliser l'équation suivante :

$$B_A(n) = AGB/1000 \times d$$

Équation 15

Avec :

- $B_A(n)$ = biomasse aérienne (TMS/ha)
- AGB = biomasse aérienne d'un arbre (kg/arbre) ;
- d = densité d'arbre à l'hectare.

8.1.2 Estimation de la biomasse racinaire (BR)

Pour déterminer la biomasse représentée par le système racinaire de l'arbre, on utilisera les équations données par Mokany *et al.* (2006) (voir annexe) qui sont des fonctions dépendant de la biomasse aérienne.

Pour les projets de plantation en Guyane, on utilisera l'équation de Cairns adaptée aux Forêts tropicales :

$$B_R(n) = 0,489 \times B_A(n)^{0,89}$$

Équation 16

Avec B_R = biomasse racinaire (en tMS)

8.1.3 Taux de carbone dans la matière sèche

Pour convertir les tonnes de matière sèche en tonnes de carbone, on retiendra la valeur de 0,475 tC/tMS (Giec, 2006).

8.1.4 Estimation de l'évolution du stock de carbone dans les sols (S)

Pour estimer le stockage de carbone dans les sols la méthode VSC sera utilisée.

La variation du stock de carbone organique du sol (COS) qui se produit jusqu'à ce qu'un état stable soit atteint dans le scénario du projet est estimée comme suit:

**Cette procédure suppose ce qui suit : (i) la préparation du site et la plantation ont lieu à moins d'un an d'intervalle ; (ii) la mise en œuvre de l'activité du projet ARR augmente la teneur en COS du niveau d'avant-projet à un niveau égal à la teneur en COS à l'état d'équilibre sous la végétation indigène; et (iii) l'augmentation de la teneur en COS s'effectue à un rythme constant sur une période de 20 ans à compter de l'année de plantation.*

For $t < t_{prep}$:

$$\Delta C_{WP_{SOC,t}} = 0$$

For $t = t_{prep}$:

$$\Delta C_{WP_{SOC,t}} = A_t \times C_{WP_{SOC,LOSS}}$$

For $t_{prep} < t \leq t_{prep+20}$:

$$\Delta C_{WP_{SOC,t}} = A_t \times (C_{WP_{SOC,REF}} - (C_{WP_{SOC,INIT}} - C_{WP_{SOC,LOSS}})) / 20$$

Selon cette méthode basée sur les facteurs par défaut, l'amélioration du stock SOC est limitée comme suit:

$$\Delta C_{WP_{SOC}} / A_t \leq 0.8 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$$

Ou :

- $\Delta CWPSOC$, Variation annuelle moyenne du stock de COS dans le scénario du projet dans l'intervalle de suivi se terminant en année ($tC.an^{-1}$)
- At Superficie (par strate, le cas échéant) en année (ha)
- $CWPSOC, REF$ Stock de référence de COS correspondant à la condition de référence dans les terres indigènes (c.-à-d. terres non dégradées et non améliorées sous végétation indigène normalement forestier) par region climatique et type de sol applicable à la zone du projet ($tC.an^{-1}$)
- $CWPSOC, INIT$ Stock de COS au début de l'activité du projet ARR ($tC.ha^{-1}$)
- $CWPSOC, LOSS$ Perte de COS causée par la perturbation du sol attribuable à la préparation du site ($tC.ha^{-1}$)
- t_{prep} Année de la première perturbation du sol
- t Temps écoulé (1, 2, 3, ...,) depuis la date de début du projet (y)

$$C_{WP_{SOC,INIT}} = C_{WP_{SOC,REF}} \times f_{LU} \times f_{MG} \times f_{IN}$$

Où :

- $CWPSOC,INIT$ Stock de COS au début de l'activité du projet ARR ($tC.ha^{-1}$)
- $CWPSOC,REF$ Stock de référence de COS correspondant à la condition de référence dans les terres indigènes (c.-à-d. terres non dégradées et non améliorées sous végétation indigène normalement forestier) par region climatique et type de sol applicable à la zone du projet ($TC ha^{-1}$)
- f_{LU} Facteur de variation des stocks pour le type d'utilisation des terres (sans dimension)
- f_{MG} Facteur de variation des stocks pour le régime de gestion (sans dimension)
- f_{IN} Facteur de variation des stocks pour l'apport de matière organique (sans dimension)

Les valeurs de $CWPSOC,REF$, f_{LU} , f_{MG} , and f_{IN} doivent être sélectionnées parmi le tableaux pour les paramètres $CWPSOC,REF$, f_{LU} , f_{MG} , à f_{IN} en annexe 2. Ces valeurs seront à saisir dans le calculateur officiel.

Pour les zones (strates) soumises à des labours/déchirures/scarifications attribuables à l'activité du projet au cours des cinq premières années de préparation initiale du site, et pour lesquelles la superficie totale perturbée est supérieure à 10% de la superficie du projet, la perte de carbone suivante doit être comptabilisée :

$$CWPSOC,LOSS = CWPSOC,INIT \times 0.1$$

Pour les autres domaines : $CWPSOC,LOSS = 0$

8.1.5 Estimation du stock de carbone dans la litière (L)

Pour le compartiment constitué par la litière, on suppose qu'il atteint sa valeur d'équilibre au bout de la durée de projet, soit au bout de 30 ans. L'équation 17 sera utilisée pour calculer l'accumulation du carbone dans le compartiment de la litière :



$$L(n) = n \times \frac{L_{eq} - L_0}{30}$$

Équation 17

Avec :

L_{eq} = valeur d'équilibre du compartiment litière est évaluée en Guyane à 4,6 tC/ha (Bréchet, 2009), qui sera arrondie à 5 tC/ha ;

L_0 = carbone de la litière avant le projet de restauration, elle sera considérée comme nulle quelle que soit la nature du terrain avant plantation (terre agricole ou friche embroussaillée).

8.1.6 Estimation du stock de carbone dans le bois mort (M)

La durée d'un projet de restauration étant de 30 ans, le bois mort au sol, sur pied ou chablis sera négligé.

8.2 Modélisation de l'évolution du carbone dans le scénario de référence

8.2.1 Cas de la poursuite de l'agriculture

Pour le scénario de référence de la poursuite de la culture agricole, la quantification carbone sera une constante égale à 5 tC/ha, telle que déterminée par le Giec (2006). Si le scénario de référence est la poursuite d'une nature de prairie ou de pâture, la biomasse aérienne sera négligée et égale à 0 tC/ha.

8.2.2 Cas de la colonisation naturelle/enfrichement

Sur la parcelle Arbocel en Guyane, après une période de 7 ans ayant suivi une coupe à blanc, le stock de matière sèche (MS) était estimé à 45 tonnes MS / ha, soit 6 tMS/ha/an correspondant à environ 3 tC/ha/an. Une estimation de la biomasse sèche après coupe a été réalisée selon une typologie forestière (Sarrailh et al., 1991). Plus de la moitié de la biomasse est représentée par les genres *Cecropia* (10t/ha) et *Vismia* (14,5 t/ha). Ainsi 7 ans après coupe, la végétation est encore essentiellement caractérisée par des espèces pionnières héliophiles, pour la plupart inaptés à la production d'énergie ou de bois d'œuvre.

Dans une compilation d'études de chronoséquences sur 43 sites dans la région néotropicale, ont constaté que le taux d'accumulation de l'AGC dans les 20 premières années de repousse, une moyenne de 3 t C/ha/an de carbone au-dessus du sol. (Poorter et al. (2016) in Chave et al 2020).

Le carbone de ce scénario de référence ne pourra pas être négligé, la valeur de 3 TC /ha/an sera ici utilisée pour « modéliser » linéairement l'accumulation de carbone dans la biomasse aérienne de ce scénario.

8.3 Modélisation de l'évolution du carbone dans l'itinéraire de restauration

Le Porteur de projet utilisera les données de croissances du calculateur officiel. Ces données sont issues :

- De ForesTreeCulture 1 & 2 pour les arbres bois d'œuvre
- De Guyafix – Données de restauration de site minier à pointe Combi

Le calculateur pourra être amené à évoluer dans les versions futures en fonction de l'évolution des données de croissances notamment sur les arbres fruitiers dont le peu de connaissance à ce jour n'a pu permettre leur intégration dans le calcul des REE.

Le Porteur de projet devra simuler la croissance des arbres plantés durant les 30 premières années.

9 VERIFICATION

9.1 Vérification documentaire par un Auditeur

Cette vérification documentaire est obligatoire. Elle sera réalisée par un Auditeur (cf. partie 9.2 ci-dessous), aux frais du Porteur de projet. Cette vérification peut être réalisée en même temps et par le même Auditeur que la vérification de terrain prévue au 8.2 afin de mutualiser les coûts. Conformément au référentiel du label Bas-Carbone, « par défaut, les vérifications sont principalement documentaires » (VII.C). Lors de l'audit, le Porteur de projet devra démontrer que le chantier de plantation a bien été réalisé. Pour ce faire, il fournira à l'Auditeur a minima une attestation de réception des travaux, une copie de la facture d'achat des plants, une copie de la facture de plantation, une copie de la facture du premier dégageage, une (ou des) photo(s) de la plantation et tout autre facture ou document jugé pertinent. Les documents fournis par le Porteur de projet sont confidentiels et seuls l'Auditeur et l'Autorité y ont accès.

Les livrables à fournir par l'auditeur sont les suivants :

- L'identité de l'auditeur et son statut (organisme, compétences) ;
- La date de la vérification ;
- Le niveau de conformité de chacun des critères évalués, et notamment les essences plantées, leurs répartitions, les surfaces plantés ;
- La vérification des co-bénéfices via l'étude des pièces (Voir §11, Tableau 11)

9.2 Vérification additionnelle de terrain par un Auditeur

Conformément à la partie VII.C du référentiel, « la Méthode peut prévoir des vérifications additionnelles plus approfondies, impliquant par exemple la venue sur place d'un Auditeur ». Cette vérification additionnelle est obligatoire en ce sens qu'elle permet de générer les réductions d'émissions anticipées qui seront attribuées au financeur. Cette vérification sera à la charge financière du Porteur de projet.

Elle aura lieu à n+5 et sera réalisée par un Auditeur qui devra juger de la réussite de la plantation afin de déterminer si les réductions d'émissions calculées à priori paraissent cohérentes.

Dans le cas de projet collectif, afin de limiter les coûts, la vérification de terrain pourra être conduite sur un échantillon d'exploitations choisi par l'auditeur selon la règle 0,5 racine (n), n étant le nombre d'exploitations du projet collectif. Cependant si le nombre d'exploitation est inférieure 49 alors la formule retenue sera Racine (n).

À partir de cinq ans après la date de la fin du chantier de restauration, le Porteur de projet contacte un Auditeur pour faire réaliser les vérifications obligatoires. Une fois les vérifications effectuées, il adresse une demande formelle à l'Autorité de se voir reconnaître les réductions d'émissions ; pour ce faire il joint son rapport de suivi et le rapport délivré par l'Auditeur. Comme indiqué dans la partie VII.B du référentiel, l'Auditeur peut être un organisme certificateur reconnu par le Programme de reconnaissance des certifications forestières (PEFC), du Forest Stewardship Council (FSC), du Verified Carbon Standard (VCS) ou d'un Bureau d'audit technique et financier avec des références dans le domaine. L'auditeur peut être également un professionnel comme par exemple un Expert ou un conseiller forestier, agricole ou n'importe quel autre organisme à condition d'être compétent et indépendant du Porteur de projet. Pour satisfaire l'exigence d'indépendance, ce professionnel ne pourra être en aucun cas l'agriculteur lui-même. En outre, l'agriculteur ne pourra pas être lié à l'Auditeur.

La vérification de terrain consistera à définir le taux de reprise à appliquer au compte de RE en année 5 de la manière suivante :

Si Le calcul de plants, par comptage statistique au taux minimal établi en fonction du nombre de plants par parcelle et par essence :

- moins de 3.000 plants : 10%
- entre 3.000 et 10.000 plants : 6%
- plus de 10.000 plants : 3%

Il convient de repérer :

- les plants vivants, « Nv »
- les plants morts ou disparus, « Nm », en distinguant parmi ces derniers ceux qui ont été détruits ou emportés pour des causes indépendantes de l'action de l'entreprise, « nm »

Le taux de reprise est égal à : $Tx = (Nv \times 100) / (Nv + Nm - nm)$

Pour que les réductions d'émissions soient vérifiées la plantation réalisée devra être cohérente avec le projet et le taux de reprise devra être supérieur ou égal à 90%.

Les livrables à fournir par l'auditeur sont les suivants :

- L'identité de l'auditeur et son statut (organisme, compétences) ;
- La date de la vérification ;
- Le niveau de conformité de chacun des critères évalués, et notamment les essences plantées, leurs répartitions, les surfaces plantés ;
- La vérification des co-bénéfices via l'étude des pièces (Voir §11, Tableau 11)
- La vérification des réductions d'émission suite à la constatation du taux de reprise ;
- Signature de l'auditeur

10 REDUCTIONS DES EMISSIONS ANTICIPEES « FORET » GENERABLES ET GENEREES APRES APPLICATION DES RABAIS

Le tableau ci-après récapitule les rabais applicables dans la Méthode « Restauration de terres agricoles dégradées », en indiquant leur applicabilité ainsi que la valeur correspondante.

Tableau 9: Liste des rabais applicables

N° Rabais	Type de rabais	Applicabilité	Valeur
Rabais 1	Analyse économique de l'additionnalité	Uniquement si non démonstration	- 40%
Rabais 2	Risques généraux difficilement maîtrisables	Obligatoire	- 20%
Rabais 3	Risque d'incendie	Uniquement dans les départements concernés	- 10 %

Ces rabais déterminent dès le début du projet le nombre de réductions d'émissions générables au moment de l'accord entre un financeur et le Porteur de projet. L'accord de gré à gré sur un prix de la tonne de CO2 doit se faire sur les REA générables (forêt ou forêt + produits bois) ou sur les REE générables (si le porteur de projet fait le choix de valoriser également des REI substitution), calculables par les équations 20 après application de tous les rabais :

$$RE_{\text{plantation}} \text{ générables} = RE_{\text{plantation}} * \prod_{n=1}^4 (1 - Rabais_n)$$

$$RE_{\text{produits}} \text{ générables} = RE_{\text{produits}} * \prod_{n=1}^4 (1 - Rabais_n)$$

$$RE_{\text{substitution}} \text{ générables} = RE_{\text{substitution}} * \prod_{n=1}^4 (1 - Rabais_n)$$

Équations 17a, 17b, 17c

La somme des RE des équations 17a, 17b et 17c donne des réductions d'émissions de l'empreinte REE (cf. équation 12). Par voie de conséquence, après la vérification additionnelle de terrain, lors de la remise du rapport de suivi, le nombre de réductions d'émissions générées se calcule avec l'équation 18 après application du rabais de la vérification (Rabais5, à calculer selon l'équation 19) :

$$RE_{\text{générées}} \text{ ou } REE_{\text{générées}} = RE_{\text{générable}} \text{ (ou } REE_{\text{générées}}) \times (1 - Rabais_5)$$

Équation 18

11 BILAN DES ELEMENTS A FOURNIR

Le tableau 10 liste les pièces à fournir avec le document de projet pour justifier son éligibilité **quel que soit le projet**.

Tableau 10: Éléments obligatoires lors de la labellisation à fournir pour être éligible, quel que soit le projet de restauration.

DOC0 (Si mandat)	Liste du ou des projet(s) individuel(s) + lettre attestant du mandat détenu et comportant les mentions obligatoire
DOC1	Acte de propriété des parcelles concernées
DOC2	Zonage agro-écologique avec sondage de sol sur parcelle exploitée et sur parcelle de référence non perturbée
DOC3	Plan de situation 1/25000
DOC4	Plan de parcelle avec zonage agro-écologique et SAU plantée
DOC5 et DOC 5bis	Photographies in situ de la parcelle permettant de témoigner du scénario de référence légendées et datées de moins de 1 ans avant la notification du projet. Photographie aérienne des parcelles datant de moins d'un an si possible avec fond cadastral.
DOC6	Itinéraire technique de plantation avec schéma d'implantation (essence, densité, espacement)
DOC7	Devis avec coût des travaux
DOC8	Analyse économique, feuille de calcul des VAN
DOC9	Feuille de calcul détaillant les rabais et les modalités de calcul des REA et REI
DOC10	Éléments de justification adéquation de l'essence aux conditions édaphiques
DOC11	Autorisation administrative de défriche antérieur au 31/12/2020

Tableau 11: Éléments optionnels à fournir lors de la vérification pour attester de la validité des Co-bénéfices.

CB1	Documents témoignant de l'appartenance à une association d'agriculteur (ex : Certificat d'adhésion avec le tampon de l'association)
CB2	Attestation de suivi de formation sur la fertilité des sols, les pratiques agro-écologiques, et la défriche faible impact
CB3	Certificat AB
CB4 et CB5	Facture des travaux de plantation réalisés avec intitulé du type de travail du sol utilisé.
CB7	Facture indiquant le type et le nombre de plantes de services herbacées implantées sur la parcelle.
CB9 et CB10	Facture indiquant le type et le nombre d'essences implantées
CB11	Photographies datées et signées attestant de la présence de ruches sur la parcelle
CB13	Distance (km) par rapport à un périmètre de protection rapproché (PPR) ou éloigné (PPE) de captage d'eau.

12 BIBLIOGRAPHIE

ADEME, 2015. *Forêt et atténuation du changement climatique*. Les avis de l'Ademe, 12 p.

Agroparistech Rapport projet module FTH (2017). Les projets d'agroforesterie dans la zone d'Iracoubo. Une réponse socio-environnementale au développement agricole et énergétique ? 54p https://graineguyane.org/wp-content/uploads/2018/01/Rapport-Projet-FTH-Iracoubo_Final-1.pdf

Bastida, F., Zsolnay, A., Hernandez T., Garcia, C., (2008). Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma* 147, 159–171.

Blancaneaux P., O. Caille, C. Charron, C. Gaucherel, J. de Granville et P. Grenand, (2001). Atlas illustré de la Guyane, Barret J, éditeur. Paris: IRD Éditions.

Bréchet, L (2009). Contribution à l'étude de la variabilité spatiale des composantes du bilan de carbone d'un sol de forêt tropicale humide (Paracou, Guyane française). Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré de Nancy.

Chave, J., Piponiot, C., Maréchaux, I., de Foresta, H., Larpin, D., Fischer, F. J., Derroire, G., Vincent, G., & Hérault, B. (2020). Slow rate of secondary forest carbon accumulation in the Guianas compared with the rest of the Neotropics. *Ecological Applications*, 30(1), eap.2004. <https://doi.org/10.1002/eap.2004>

Clean Development Mechanism, CDM (2011). AR-TOOL16: A/R Methodological Tool – Tool for estimation of change in soil organic carbon stocks due to the implementation of A/R CDM project activities, v.01.1.0. https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-16-v1.1.0.pdf/history_view

Courte, A. (2019). Le carbone des sols, la petite agriculture, ses systèmes de production et pratiques, témoins des enjeux environnementaux et agricoles de la {Guyane}. Université de Guyane.

Courte, Amandine, Cialdella, N., Muller, A., Blanfort, V., Bochu, J.-L., & Brossard, M. (2020). Recenser et évaluer les pratiques agricoles qui stockent le carbone des sols, premier pas vers une agriculture à faible impact en {Guyane}. *Cahiers Agricultures*, 29, 21. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020019>

DAAF Guadeloupe, Barème des pertes de récoltes et de fonds de Guadeloupe, (2021).

DAAF Guyane, Référentiel technique et économique, (2019).

Guyane Forest Initiative - Projet RETAD rapport interne, (2021). Plan de relance - Restauration écologique des terres agricoles dégradées à Iracoubo - Dossier technique. 22p

Hoff, M. (1997) Typologie provisoire des habitats naturels des départements d'outremer français, basée sur corine biotopes et la « classification of palaeartic habitats » du conseil de l'europe. Muséum national d'Histoire naturelle Institut d'Ecologie et de Gestion de la Biodiversité. 40p

Nicolini, E., Morel, H. (2016) « ForesTreeCulture » Rapport: Etude du développement et des propriétés du bois de plantation d'espèces forestières guyanaises. PO FEDER 2007-2013. ONF, Cirad, UMR EcoFog, AMAP. 100p

Préfet de la Région Guyane (2019). Campagne de prévention et de lutte contre les feux de végétation 2019 Bilan. 7p

Rapport d'avancement #1 – « 4 pour 1000 » Outremer (2021) : Stocker du carbone dans les sols agricoles et forestiers ultra-marins : état des connaissances et synergies avec la Trajectoire 5.0 à La Guadeloupe, La Martinique, en Guyane, à La Réunion, à Mayotte, à Saint-Martin et à Saint-Barthélemy. ADEME, Cirad, INRAE, IRD, 24 p + annexes.

Ritz K., Black H.I.J., Campbell C.D., Harris J.A., Wood C., (2009). Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. Ecological indicators 9, 1212–1221.

DAAF Guyane - Référentiel Technico Economique (RTE) Guyane, 2019.

Sarrailh, J. M., de Foresta, H., Maury-Lechon, G., & Prevost, M. (1991). La régénération après coupe papetière : Parcelle Arbocel (Issue September).

Schimann H., Petitjean C., Guitet S., Reis T., Domenach A.M., Roggy J.C., 2012. Microbial bioindicators of soil functioning after disturbance: The case of gold mining in tropical rainforests of French Guiana. Ecological Indicators 20, 34–41.

SOLICAZ. - Rapport GUYAFIX 2012-2014 : Mise en place d'une production de plantes fixatrices d'azote endémiques de Guyanes pour la restauration des sites dégradés. - 99 p.

VCS – METHODOLOGY FOR AFFORESTATION, REFORESTATION AND REVEGETATION PROJECTS – 2021 - Verra, with principle contributions from Terra Carbon (David Shoch , Scott Settelmyer , Rebecca Dickson and Devon Ericksen and Silvestrum Climate Associates (Igino Emmer)

Annexe 1 : Equations de Cairns et al. (1997)

Il s'agit des équations recommandées par le Giec sur la base des travaux de Cairns *et al.* (1997). Pour les équations 3, 4 et 5, l'ajout de la latitude (ou de l'âge dans l'équation 2) n'augmente pas beaucoup le R², les coefficients sont toutefois très significatifs.

Conditions et variables indépendantes	Équation	Taille d'échantillon n	R ²
Toutes les forêts, $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,085 + 0,9256 \times \ln(B_A))$	151	0,83
Toutes les forêts, $B_R = f(B_A, \hat{A}ge)$	$B_R = \exp(-1,3267 + 0,8877 \times \ln(B_A) + 0,1045 \times \ln(\hat{A}ge))$	109	0,84
Forêts tropicales $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(B_A))$	151	0,84
Forêts tempérées, $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(B_A) + 0,2840)$	151	0,84
Forêts boréales $B_R = f(B_A)$	$B_R = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(B_A) + 0,1874)$	151	0,84

Avec :

B_R = la biomasse racinaire en tonnes de matière sèche (tMS) ;

B_A = la biomasse aérienne en tonnes de matière sèche (tMS).

Annexe 2 : Tableaux méthode VSC pour la détermination des facteurs CWPSOC, REF, FLU, FMG, FIN

Donnée	CWPSOC, REF																																																												
Unité	tC.ha-1																																																												
Description	Stock de SOC de référence correspondant à la condition de référence dans les terres indigènes (c'est-à-dire les terres non dégradées et non améliorées sous végétation normalement forestière) par région climatique et type de sol applicable à la zone du projet																																																												
Source de la donnée	Tiré de l'outil d'outil méthodologique CDM (2011) A/R pour l'estimation de la variation des stocks de carbone organique du sol due à la mise en œuvre des activités du projet A/R MDP faisant référence aux valeurs du GIEC																																																												
Valeur appliquée	<p style="text-align: center;">Table 3: Default reference SOC stocks (SOC_{REF}) for mineral soils³ (tC ha⁻¹ in 0-30 cm depth)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Climate region</th> <th>HAC soils^(a)</th> <th>LAC soils^(b)</th> <th>Sandy soils^(c)</th> <th>Spodic soils^(d)</th> <th>Volcanic soils^(e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Boreal</td> <td>68</td> <td>NA</td> <td>10</td> <td>117</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Cold temperate, dry</td> <td>50</td> <td>33</td> <td>34</td> <td>NA</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Cold temperate, moist</td> <td>95</td> <td>85</td> <td>71</td> <td>115</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>Warm temperate, dry</td> <td>38</td> <td>24</td> <td>19</td> <td>NA</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Warm temperate,</td> <td>88</td> <td>63</td> <td>34</td> <td>NA</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Tropical, dry</td> <td>38</td> <td>35</td> <td>31</td> <td>NA</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Tropical, moist</td> <td>65</td> <td>47</td> <td>39</td> <td>NA</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Tropical, wet</td> <td>44</td> <td>60</td> <td>66</td> <td>NA</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>Tropical montane</td> <td>88</td> <td>63</td> <td>34</td> <td>NA</td> <td>80</td> </tr> </tbody> </table> <p>^(a) Soils with high activity clay (HAC) minerals are lightly to moderately weathered soils, which are dominated by 2:1 silicate clay minerals (in the World Reference Base for Soil Resources (WRB) classification these include Leptosols, Vertisols, Kastanozems, Chernozems, Phaeozems, Luvisols, Alisols, Albeluvisols, Solonetz, Calcisols, Gypsisols, Umbrisols, Cambisols, Regosols; in USDA classification includes Mollisols, Vertisols, high-base status Alfisols, Aridisols, Inceptisols);</p> <p>^(b) Soils with low activity clay (LAC) minerals are highly weathered soils, dominated by 1:1 clay minerals and amorphous iron and aluminium oxides (in WRB classification includes Acrisols, Lixisols, Nitisols, Ferralsols, Durisols; in USDA classification includes Ultisols, Oxisols, acidic Alfisols);</p> <p>^(c) Includes all soils (regardless of taxonomic classification) having > 70% sand and < 8% clay, based on standard textural analyses (in WRB classification includes Arenosols; in USDA classification includes Psamments);</p> <p>^(d) Soils exhibiting strong podzolization (in WRB classification includes Podzols; in USDA classification Spodosols);</p> <p>^(e) Soils derived from volcanic ash with allophanic mineralogy (in WRB classification Andosols; in USDA classification Andisols)</p>	Climate region	HAC soils ^(a)	LAC soils ^(b)	Sandy soils ^(c)	Spodic soils ^(d)	Volcanic soils ^(e)	Boreal	68	NA	10	117	20	Cold temperate, dry	50	33	34	NA	20	Cold temperate, moist	95	85	71	115	130	Warm temperate, dry	38	24	19	NA	70	Warm temperate,	88	63	34	NA	80	Tropical, dry	38	35	31	NA	50	Tropical, moist	65	47	39	NA	70	Tropical, wet	44	60	66	NA	130	Tropical montane	88	63	34	NA	80
Climate region	HAC soils ^(a)	LAC soils ^(b)	Sandy soils ^(c)	Spodic soils ^(d)	Volcanic soils ^(e)																																																								
Boreal	68	NA	10	117	20																																																								
Cold temperate, dry	50	33	34	NA	20																																																								
Cold temperate, moist	95	85	71	115	130																																																								
Warm temperate, dry	38	24	19	NA	70																																																								
Warm temperate,	88	63	34	NA	80																																																								
Tropical, dry	38	35	31	NA	50																																																								
Tropical, moist	65	47	39	NA	70																																																								
Tropical, wet	44	60	66	NA	130																																																								
Tropical montane	88	63	34	NA	80																																																								
Justification du choix de données ou description de méthodes de mesure et procédures appliquées	Le GIEC est une source fiable approuvée par le VCS																																																												
Objectif des données	Calcul des émissions du projet																																																												

Donnée	FLU																																																							
Unité	Sans dimension																																																							
Description	Facteur de variation des stocks pour l'utilisation des terres																																																							
Source de la donnée	Tiré de l'outil d'outil méthodologique CDM A/R pour l'estimation de la variation des stocks de carbone organique du sol due à la mise en œuvre des activités du projet A/R MDP faisant référence aux valeurs du GIEC.																																																							
Valeur appliquée	<p style="text-align: center;">Table 4: Relative stock change factors for different management activities on cropland (net effect over a period of 20 years)⁴</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Factor type</th> <th>Level</th> <th>Temperature regime</th> <th>Moisture regime</th> <th>Factor value</th> <th>Description and criteria</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Land use (f_{LU})</td> <td rowspan="5">Long-term cultivated</td> <td rowspan="2">Temperate/Boreal</td> <td>Dry</td> <td>0.80</td> <td rowspan="5">Area has been continuously managed for crops for more than 20 years</td> </tr> <tr> <td>Moist</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tropical</td> <td>Dry</td> <td>0.58</td> </tr> <tr> <td>Moist/Wet</td> <td>0.48</td> </tr> <tr> <td>Tropical montane</td> <td>n/a</td> <td>0.64</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Land use (f_{LU})</td> <td rowspan="3">Short-term cultivated (< 20 yrs) or set aside (< 5 years)</td> <td rowspan="2">Temperate/Boreal and Tropical</td> <td>Dry</td> <td>0.93</td> <td rowspan="3">Area has been managed for crops for less than 20 years and/or the area is cropland that has been in a fallow state for less than five years at any point during the last 20 years</td> </tr> <tr> <td>Moist/Wet</td> <td>0.82</td> </tr> <tr> <td>Tropical montane</td> <td>n/a</td> <td>0.88</td> </tr> <tr> <td>Management (f_{MG})</td> <td>Full tillage</td> <td>All</td> <td>Dry and Moist/Wet</td> <td>1.00</td> <td>Substantial soil disturbance with full inversion and/or frequent (within-year) tillage operations. At planting time, little (e.g. <30%) of the surface is covered by residues</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Management (f_{MG})</td> <td rowspan="5">Reduced tillage</td> <td rowspan="2">Temperate/Boreal</td> <td>Dry</td> <td>1.02</td> <td rowspan="5">Primary and/or secondary tillage but with reduced soil disturbance (usually shallow and without full soil inversion). Normally leaves surface with >30% coverage by residues at planting</td> </tr> <tr> <td>Moist</td> <td>1.08</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tropical</td> <td>Dry</td> <td>1.09</td> </tr> <tr> <td>Moist/ Wet</td> <td>1.15</td> </tr> <tr> <td>Tropical montane</td> <td>n/a</td> <td>1.09</td> </tr> </tbody> </table>	Factor type	Level	Temperature regime	Moisture regime	Factor value	Description and criteria	Land use (f_{LU})	Long-term cultivated	Temperate/Boreal	Dry	0.80	Area has been continuously managed for crops for more than 20 years	Moist	0.69	Tropical	Dry	0.58	Moist/Wet	0.48	Tropical montane	n/a	0.64	Land use (f_{LU})	Short-term cultivated (< 20 yrs) or set aside (< 5 years)	Temperate/Boreal and Tropical	Dry	0.93	Area has been managed for crops for less than 20 years and/or the area is cropland that has been in a fallow state for less than five years at any point during the last 20 years	Moist/Wet	0.82	Tropical montane	n/a	0.88	Management (f_{MG})	Full tillage	All	Dry and Moist/Wet	1.00	Substantial soil disturbance with full inversion and/or frequent (within-year) tillage operations. At planting time, little (e.g. <30%) of the surface is covered by residues	Management (f_{MG})	Reduced tillage	Temperate/Boreal	Dry	1.02	Primary and/or secondary tillage but with reduced soil disturbance (usually shallow and without full soil inversion). Normally leaves surface with >30% coverage by residues at planting	Moist	1.08	Tropical	Dry	1.09	Moist/ Wet	1.15	Tropical montane	n/a	1.09
Factor type	Level	Temperature regime	Moisture regime	Factor value	Description and criteria																																																			
Land use (f_{LU})	Long-term cultivated	Temperate/Boreal	Dry	0.80	Area has been continuously managed for crops for more than 20 years																																																			
			Moist	0.69																																																				
		Tropical	Dry	0.58																																																				
			Moist/Wet	0.48																																																				
		Tropical montane	n/a	0.64																																																				
Land use (f_{LU})	Short-term cultivated (< 20 yrs) or set aside (< 5 years)	Temperate/Boreal and Tropical	Dry	0.93	Area has been managed for crops for less than 20 years and/or the area is cropland that has been in a fallow state for less than five years at any point during the last 20 years																																																			
			Moist/Wet	0.82																																																				
		Tropical montane	n/a	0.88																																																				
Management (f_{MG})	Full tillage	All	Dry and Moist/Wet	1.00	Substantial soil disturbance with full inversion and/or frequent (within-year) tillage operations. At planting time, little (e.g. <30%) of the surface is covered by residues																																																			
Management (f_{MG})	Reduced tillage	Temperate/Boreal	Dry	1.02	Primary and/or secondary tillage but with reduced soil disturbance (usually shallow and without full soil inversion). Normally leaves surface with >30% coverage by residues at planting																																																			
			Moist	1.08																																																				
		Tropical	Dry	1.09																																																				
			Moist/ Wet	1.15																																																				
		Tropical montane	n/a	1.09																																																				
Justification du choix de données ou description de méthodes de mesure et procédures appliquées	Le GIEC est une source fiable approuvée par le VCS																																																							
Objectif des données	Calcul des émissions du projet																																																							

Donnée	FMG
Unité	Sans dimensions

Description	Facteur de variation des stocks pour le régime de gestion																																																											
Source de la donnée	Tiré de l'outil d'outil méthodologique CDM A/R pour l'estimation de la variation des stocks de carbone organique du sol due à la mise en œuvre des activités du projet A/R MDP faisant référence aux valeurs du GIEC.																																																											
Valeur appliquée	<p align="center">Table 4: Relative stock change factors for different management activities on cropland (net effect over a period of 20 years)⁴</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Factor type</th> <th>Level</th> <th>Temperature regime</th> <th>Moisture regime</th> <th>Factor value</th> <th>Description and criteria</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Land use (f_{LU})</td> <td rowspan="5">Long-term cultivated</td> <td rowspan="2">Temperate/ Boreal</td> <td>Dry</td> <td>0.80</td> <td rowspan="5">Area has been continuously managed for crops for more than 20 years</td> </tr> <tr> <td>Moist</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tropical</td> <td>Dry</td> <td>0.58</td> </tr> <tr> <td>Moist/Wet</td> <td>0.48</td> </tr> <tr> <td>Tropical montane</td> <td>n/a</td> <td>0.64</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Land use (f_{LU})</td> <td rowspan="3">Short-term cultivated (< 20 yrs) or set aside (< 5 years)</td> <td rowspan="2">Temperate/ Boreal and Tropical</td> <td>Dry</td> <td>0.93</td> <td rowspan="3">Area has been managed for crops for less than 20 years and/or the area is cropland that has been in a fallow state for less than five years at any point during the last 20 years</td> </tr> <tr> <td>Moist/Wet</td> <td>0.82</td> </tr> <tr> <td>Tropical montane</td> <td>n/a</td> <td>0.88</td> </tr> <tr> <td>Management (f_{MG})</td> <td>Full tillage</td> <td>All</td> <td>Dry and Moist/Wet</td> <td>1.00</td> <td>Substantial soil disturbance with full inversion and/or frequent (within-year) tillage operations. At planting time, little (e.g. <30%) of the surface is covered by residues</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Management (f_{MG})</td> <td rowspan="5">Reduced tillage</td> <td rowspan="2">Temperate/ Boreal</td> <td>Dry</td> <td>1.02</td> <td rowspan="5">Primary and/or secondary tillage but with reduced soil disturbance (usually shallow and without full soil inversion). Normally leaves surface with >30% coverage by residues at planting</td> </tr> <tr> <td>Moist</td> <td>1.08</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tropical</td> <td>Dry</td> <td>1.09</td> </tr> <tr> <td>Moist/ Wet</td> <td>1.15</td> </tr> <tr> <td>Tropical montane</td> <td>n/a</td> <td>1.09</td> </tr> </tbody> </table>					Factor type	Level	Temperature regime	Moisture regime	Factor value	Description and criteria	Land use (f_{LU})	Long-term cultivated	Temperate/ Boreal	Dry	0.80	Area has been continuously managed for crops for more than 20 years	Moist	0.69	Tropical	Dry	0.58	Moist/Wet	0.48	Tropical montane	n/a	0.64	Land use (f_{LU})	Short-term cultivated (< 20 yrs) or set aside (< 5 years)	Temperate/ Boreal and Tropical	Dry	0.93	Area has been managed for crops for less than 20 years and/or the area is cropland that has been in a fallow state for less than five years at any point during the last 20 years	Moist/Wet	0.82	Tropical montane	n/a	0.88	Management (f_{MG})	Full tillage	All	Dry and Moist/Wet	1.00	Substantial soil disturbance with full inversion and/or frequent (within-year) tillage operations. At planting time, little (e.g. <30%) of the surface is covered by residues	Management (f_{MG})	Reduced tillage	Temperate/ Boreal	Dry	1.02	Primary and/or secondary tillage but with reduced soil disturbance (usually shallow and without full soil inversion). Normally leaves surface with >30% coverage by residues at planting	Moist	1.08	Tropical	Dry	1.09	Moist/ Wet	1.15	Tropical montane	n/a	1.09
Factor type	Level	Temperature regime	Moisture regime	Factor value	Description and criteria																																																							
Land use (f_{LU})	Long-term cultivated	Temperate/ Boreal	Dry	0.80	Area has been continuously managed for crops for more than 20 years																																																							
			Moist	0.69																																																								
		Tropical	Dry	0.58																																																								
			Moist/Wet	0.48																																																								
		Tropical montane	n/a	0.64																																																								
Land use (f_{LU})	Short-term cultivated (< 20 yrs) or set aside (< 5 years)	Temperate/ Boreal and Tropical	Dry	0.93	Area has been managed for crops for less than 20 years and/or the area is cropland that has been in a fallow state for less than five years at any point during the last 20 years																																																							
			Moist/Wet	0.82																																																								
		Tropical montane	n/a	0.88																																																								
Management (f_{MG})	Full tillage	All	Dry and Moist/Wet	1.00	Substantial soil disturbance with full inversion and/or frequent (within-year) tillage operations. At planting time, little (e.g. <30%) of the surface is covered by residues																																																							
Management (f_{MG})	Reduced tillage	Temperate/ Boreal	Dry	1.02	Primary and/or secondary tillage but with reduced soil disturbance (usually shallow and without full soil inversion). Normally leaves surface with >30% coverage by residues at planting																																																							
			Moist	1.08																																																								
		Tropical	Dry	1.09																																																								
			Moist/ Wet	1.15																																																								
		Tropical montane	n/a	1.09																																																								
Justification du choix de données ou description de méthodes de mesure et procédures appliquées	Le GIEC est une source fiable approuvée par le VCS																																																											
Objectif des données	Calcul des émissions du projet																																																											

Donnée	FIN
Unité	Sans dimension
Description	Facteur de variation des stocks pour l'apport de matière organique
Source de la donnée	Tiré de l'outil d'outil méthodologique CDM A/R pour l'estimation de la variation des stocks de carbone organique du sol due à la mise en œuvre

des activités du projet A/R MDP faisant référence aux valeurs du GIEC.

Valeur appliquée

Table 5: Relative stock change factors for different levels of nutrient input on cropland (net effect over a period of 20 years)⁵

Factor type	Level	Temperature regime	Moisture regime	Factor value	Description and criteria
Input (f_{in})	Low	Temperate/ Boreal	Dry	0.95	There is removal of residues (via collection or burning), or frequent bare-fallowing, or production of crops yielding low residues (e.g. vegetables, tobacco, cotton), or no mineral fertilization or N-fixing crops
			Moist	0.92	
		Tropical	Dry	0.95	
			Moist/ Wet	0.92	
Tropical montane	n/a	0.94			
Input (f_{in})	Medium	All	Dry and Moist/ Wet	1.00	All crop residues are returned to the field. If residues are removed then supplemental organic matter (e.g. manure) is added. Additionally, mineral fertilization or N-fixing crop rotation is practised
Input (f_{in})	High without manure	Temperate/ Boreal and Tropical	Dry	1.04	Represents significantly greater crop residue inputs over medium C input cropping systems due to additional practices, such as production of high residue yielding crops, use of green manures, cover crops, improved vegetated fallows, irrigation, frequent use of perennial grasses in annual crop rotations, but without manure applied
			Moist/ Wet	1.11	
		Tropical Montane	n/a	1.08	

Justification du choix de données ou description de méthodes de mesure et procédures appliquées

Le GIEC est une source fiable approuvée par le VCS

Objectif des données

Calcul des émissions du projet

Annexe 3 : Présentation du Zonage Agro-écologique

Extrait du zonage Agro-Ecologique de Rococoua réalisé par Solicaz en Juin 2019

I. Méthodologie

Le zonage agroécologique s'appuie sur l'étude des différentes composantes du milieu, ses caractéristiques écologiques, ses caractéristiques morphologiques et les composantes physiques, chimiques et biologiques des sols.

Le zonage agroécologique est réalisé en 4 phases :

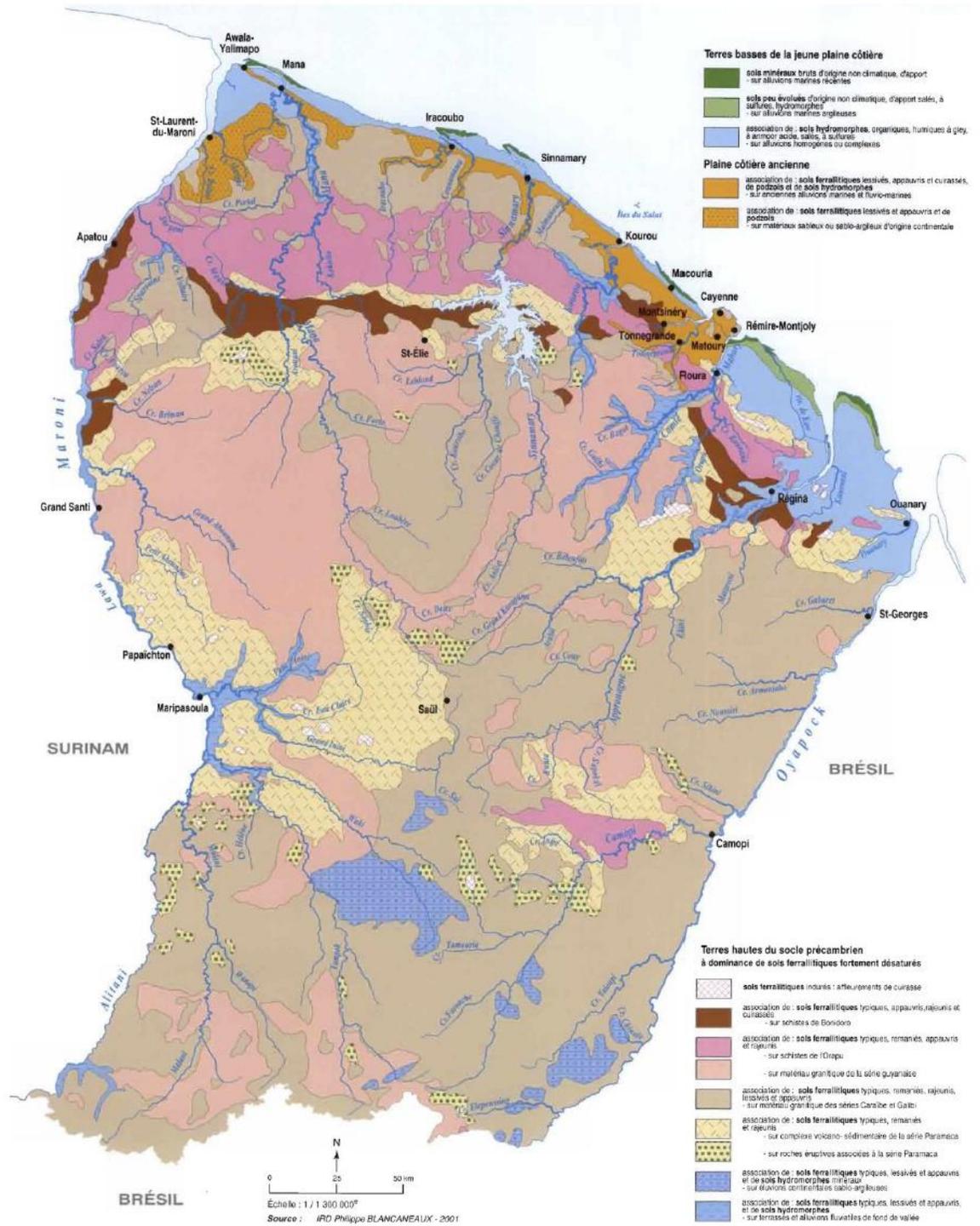
- 1-Réalisation d'une typologie de la zone étudiée
- 2-Etude sur le terrain et échantillonnage des sols
- 3-Analyse en laboratoire des échantillons
- 4-Analyse des résultats et interprétation

L'ensemble des analyses terrain ainsi que les échantillons de sols « témoins » prélevés sur des parcelles non perturbées permettront à l'organisme technique de se prononcer sur l'état de dégradation d'une parcelle. Les parcelles témoins sont choisies par l'opérateur qualifié, il s'agit de parcelles situées sur de grands types de sols équivalents n'ayant pas fait l'objet de défriche ainsi que des parcelles en cours d'exploitation agricole avec des pratiques dites à faible impact (Courte, 2019). Ces données permettront de définir la perte de fertilité liée à la défriche et à l'utilisation agricole des parcelles.

« Les stocks de carbone organique des sols sous végétation naturelle sont élevés et varient rapidement et fortement après la défriche et la mise en culture. Les simulations, et leurs confrontations aux mesures chez les agriculteurs sont cohérentes et soulignent bien la fragilité des systèmes sol-plante dès lors que l'on défriche. Nous avons vu en particulier que les phénomènes sont rapides, tant sur la réactivité à constituer des stocks de carbone exemplaires avec certaines pratiques, qu'à les voir se dégrader dans certains systèmes très intensifs. Si l'impact des pratiques à forts intrants se traduit par des baisses drastiques de SOC, jusqu'à -50% du SOC à T0 en 5 ans, les pratiques à faible impact présentent un intérêt environnemental certain. » (Courte, 2019)

Grands type de sol Guyanais	Surface(km ²)	Part dans la représentation cartographique (%)
Ferrallitisols	4714,64	43,68
Réductisols	3558,49	32,97
Fluvisols/Réductisols	2169,07	20,10
Podzosols	351,33	3,26
Totaux	10 793,54	

Distribution des grands types de sols du Nord Guyane (km² et %) (Courte, 2019).



Carte pédologique de la Guyane (Blancaneux et al. 2001)

1. La typologie

La typologie est le regroupement de caractéristiques communes permettant d'établir une grille de critère. C'est la description d'un minimum de caractéristiques morphologiques et analytiques (propriétés physiques, chimiques, biologiques) d'un sol sans référence à sa position dans l'espace. De cette typologie découlera une investigation pointue sur le potentiel agronomique de la zone étudiée.

Les sources de données pédologiques sur un territoire peuvent être très hétérogènes selon les paramètres étudiés et son échelle, avec une gamme d'échelle allant de 1/5000 ème à 1/1 000 000ème.

Deux catégories de typologies sont couramment distinguées et leur pertinence dépend de la superficie du territoire d'étude :

- Des typologies régionales, en général issues d'inventaires cartographiques à moyenne ou petite échelle (1/25 000ème à 1/250 000ème).

-Des typologies locales s'appuyant sur des études à grande et moyenne échelle (1/25 000ème à 1/250 000ème).

Dans le cas de cette étude pour le GO PEI, le degré de précision recherche e approprié est à l'échelle 1/10 000ème (les parcelles mesurant entre quelques hectares à quelques dizaines d'hectares). Afin de prendre en compte l'hétérogénéité du sol, caractéristique des sols guyanais, les analyses de sols ont été réalisées sur la base de 5 échantillons prélevés par hectare.

La première étape se base sur l'analyse de tous les documents disponibles permettant de caractériser le Territoire d'étude: cartes pédologiques, données topographiques (type modèle numérique de terrain MNT, cartes IGN, images satellites, etc) et zones d'intérêt écologique (ZNIEFF).

2. Les paramètres étudiés

Le zonage agroécologique, contrairement à une étude pédologique, prend en compte toutes les caractéristiques du sol (composante physique, chimiques et biologiques) ainsi que les caractéristiques environnementales. Les paramètres étudiés pour la réalisation du zonage agroécologique sont :

- La topographie (relief)
- l'hydromorphologie (la saturation en eau du sol)
- La composition physique du sol
- La composition chimique du sol
- La composition biologique du sol
- L'état actuel d'occupation du sol (friche, culture, prairie, ...)
- Le rendement de la culture en place

2.1 La topographie

Dans un objectif de préservation des sols contre les risques d'érosion, seules les zones de pentes inférieures à 30% sont conservées. Toutefois, il n'est pas recommandé de mécaniser l'agriculture pour des pentes de plus de 20% (Boyer 1982).

Tableau 1: Limitation agricole en fonction de la pente (SYS 1978)

Degré des limitations agricoles	FAO Tropiques humides (SYS, 1978)		
	Cultures annuelles	Cultures pérennes	Arboriculture
Limitation nulle	0-2 %	0-8 %	0 - 16 %
Limitation faible	2-8 %	8-16 %	16 - 30 %
Limitation moyenne	8-16 %	16-30 %	>30 %
Limitation forte	16-30 %	>30 %	
Limitation très forte	>30 %		

2.2 l'Hydromorphologie

L'hydro morphologie consiste à déterminer les zones qui sont engorgée d'eau (temporaires ou permanentes). Ces zones sont peu propices à l'agriculture. Elles peuvent être identifiées par la présence de « tâche de rouille » au niveau du sol (oxydation du fer présent) lors du carottage des échantillons, par la présence de pneumatophores (racines aériennes de certains arbres pour sortir

de l'eau) ainsi que de quelques espèces végétales caractéristiques. Quelques solutions sont présentées dans les préconisations pour envisager l'exploitation de zones hydromorphes.



Figure 6: Photos de traces d'hydromorphie diagnostiquées sur le sol (gauche). A droite des pneumatophores.

2.3 La composante physique du sol

- *La profondeur du sol*

La profondeur du sol facilement exploitable par les racines peut être limitée par un certain nombre de caractéristiques (cuirasse rocheuse, nappes, système de drainage horizontal ...). Selon la profondeur utile du sol il est possible d'installer du pâturage (à partir de 20 cm), du maraîchage (à partir de 40 cm) et de l'arboriculture (à partir de 60 cm) (Boyer, 1982).

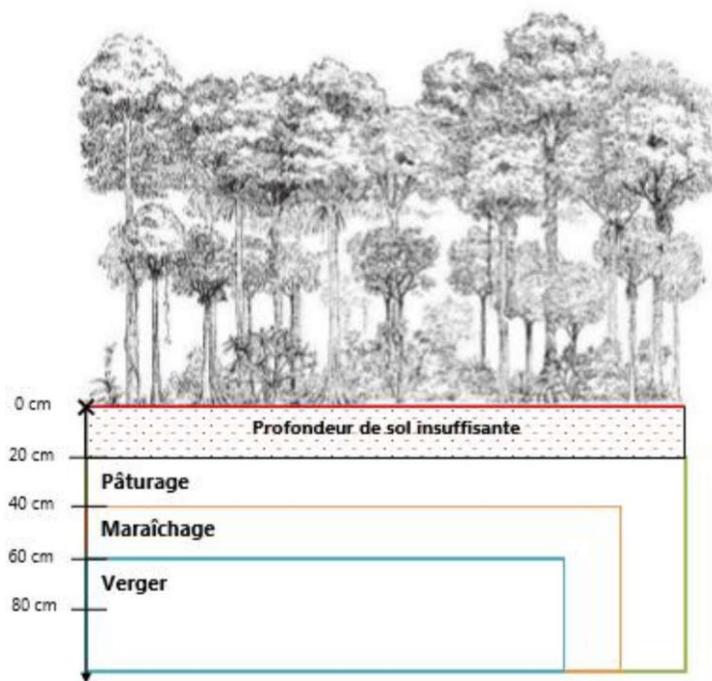


Figure 7: profondeur utile des sols et types de cultures valorisables

- *La texture des sols*

La stabilité structurale d'un sol est assurée par sa texture, sa teneur en matière organique et sa capacité à retenir l'eau. On étudie la texture par analyse granulométrique : analyse consistant à classer les particules du sol d'après leur grosseur et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (du plus fin au plus grossier : argile, limon et sable). On compte trois grandes classes de sol : les sols sableux, les sols limoneux et les sols argileux. À partir de ces grandes classes, plusieurs groupes sont définis (argilo- sableux, sablo-limoneux,). Il existe des contraintes culturales fortes pour les sols présentant moins de 13% d'argile (sol sableux, non rétention de la matière organique) et plus de 40% d'argile (sol argileux, saturation en eau). Les sols de meilleure qualité sont les sols sablo-argileux (de 10 à 25% d'argile), argilo-sableux (de 25 à 40% d'argile) ainsi que ceux constitué en partie par du limon (Boyer 1982).

Tableau 2: Indice de qualité de la texture du sol (Boyer, 1982)

Type de sol	Taux d'argile	Qualité de la texture
Sableux	Moins de 13 % d'argile granulométrique	Mauvais
Sablo-argileux	13 à 25 % d'argile granulométrique	Bon

Argilo-sableux	25 à 40 % d'argile granulométrique	Très bon
Argileux	Plus de 40 % d'argile granulométrique	Moyen

2.4 La composante chimique du sol

- *La teneur en matière organique du sol*

Elément essentiel de la fertilité chimique, la matière organique est l'unique fournisseur d'azote pour les plantes (en dehors des plantes fixatrices de l'azote atmosphérique) et contient une bonne part des cations échangeables et du phosphore en milieu tropical. Elle atténue également la compacité des sols ferrallitiques. La matière organique (MO) joue également un rôle fondamental pour le maintien de sols vivants à long terme. Un taux de matière organique élevé favorise le développement des micro-organismes du sol. Ce sont ces mêmes micro-organismes qui mettent ensuite les éléments minéraux à disposition des plantes grâce à la minéralisation de cette matière organique. Cependant une forte teneur en matière organique n'est pas toujours synonyme de bonne qualité des sols (ex : tourbière), car elle peut être plus ou moins dégradable suivant sa composition (matière organique récalcitrante) et l'environnement dans lequel elle se trouve (dans un sol saturé en eau elle ne se décomposera que très difficilement).

Tableau 3: Limitations agricoles suivant la teneur en matière organique en % (Boyer, 1982)

Contrainte de production agricole	Nulle	Légère	Modérée	Forte
Teneur en MO (%)	>2,4	1,5-2,4	0,8-1,5	<0,8

- *Le potentiel Hydrogène (pH)*

Le pH du sol est mesuré à l'eau distillé. C'est une donnée très largement utilisée pour évaluer grossièrement les possibilités agricoles, le pH influe sur la biodisponibilité des différents éléments minéraux. Toutefois, les plantes et cultures présentent des tolérances au pH qui leur sont caractéristiques (plantes acidophiles ou basophiles). A noter que les sols tropicaux, comme en Guyane, se caractérisent essentiellement par des pH acides (Dabin, 1984). Il est cependant possible de rectifier en partie un pH acide par du chaulage.

- *Les éléments minéraux*

Les plantes ne peuvent pas se nourrir directement de la MO, elles se nourrissent de minéraux. Le sol recycle, via la vie du sol, les matières organiques en éléments minéraux absorbable par les cultures. Trois éléments minéraux sont essentiels au développement des plantes l'azote (N), le potassium (K₂O) et le phosphore (P₂O₅). La teneur des éléments nutritifs présents dans le sol permet de connaître les carences des sols et d'adapter la fertilisation en conséquence (apport engrais chimiques ou organiques). Boulet et al. (1984) affirment que dans le contexte du sol guyanais, la fertilité chimique naturelle est généralement très faible.

Tableau 4 : seuil de carence critique (valeurs extrêmement faible empêchant la production agricole) des différentes teneurs en éléments nutritifs dans les sols (en kg/t, d'après Boyer, 1982)

	azote	phosphore	potassium	magnésium
Seuil de carence critique (en kg/t)	0,5	0,013	0,025	0,015

2.5 La composante biologique du sol

Les fonctions biologiques du sol représentent les valeurs les plus intégratives de la connaissance de la qualité du sol. Les bioindicateurs utilisés sont basés sur la mesure des principales fonctions microbiennes liées aux cycles du carbone et plus particulièrement de la respiration du sol (Schloter et al., 2003), c'est un indicateur de la capacité du sol à transformer la matière organique en éléments nutritifs pour la plante. En effet, il ne suffit pas d'avoir de la matière organique pour conclure que le sol est fertile, encore faut-il que cette matière organique ne soit pas stockée sous forme d'humus récalcitrant et puisse être minéralisée en éléments nutritifs pour les cultures. La respiration microbienne du sol concerne l'ensemble des micro-organismes dans leur diversité et abondance.

Elle nous renseigne sur la capacité de la communauté microbienne hétérotrophe (bactéries, champignons) du sol à dégrader la matière organique. Elle peut aussi être considérée comme un indicateur de la biomasse microbienne totale active du sol et donc de sa capacité biotique.

Tableau 5: Indice de la qualité biologique du sol (Schloter, 2013)

Respiration (ng de C-CO₂/g de sol/h)	Qualité biologique
< à 2	Mauvais
[2 à 3]	Moyen
[3 à 5]	Bon
>= 5	Très bon

3. La hiérarchisation des critères

Un zonage agroécologique s'opère en plusieurs phases successives. Les différentes étapes sont des filtres qui aiguillent vers l'optimisation de ses terres à des fins agricoles. La première étape élimine les zones des parcelles inexploitable. La deuxième étape indique les grands types de cultures envisageables. Et enfin, la dernière étape précise sur la qualité agronomique des sols.

Etape 1 : Exclusion des parcelles inexploitable

Les critères rendant une parcelle inexploitable pour les grands types de cultures sont :

- 1- Une pente supérieure à 30%
- 2- Les zones hydromorphes

3- Une profondeur utile du sol de moins de 20 cm

Etape 2 : Déterminer le type d'agriculture

Cette détermination de type d'agriculture est conditionnée par la profondeur utile des sols. Il est recommandé d'installer du pâturage sur des sols d'une profondeur > 20 cm, du maraichage à partir de 40cm et de l'arboriculture à partir de 60 cm de profondeur.

Etape 3 : Déterminer l'indice de qualité des sols

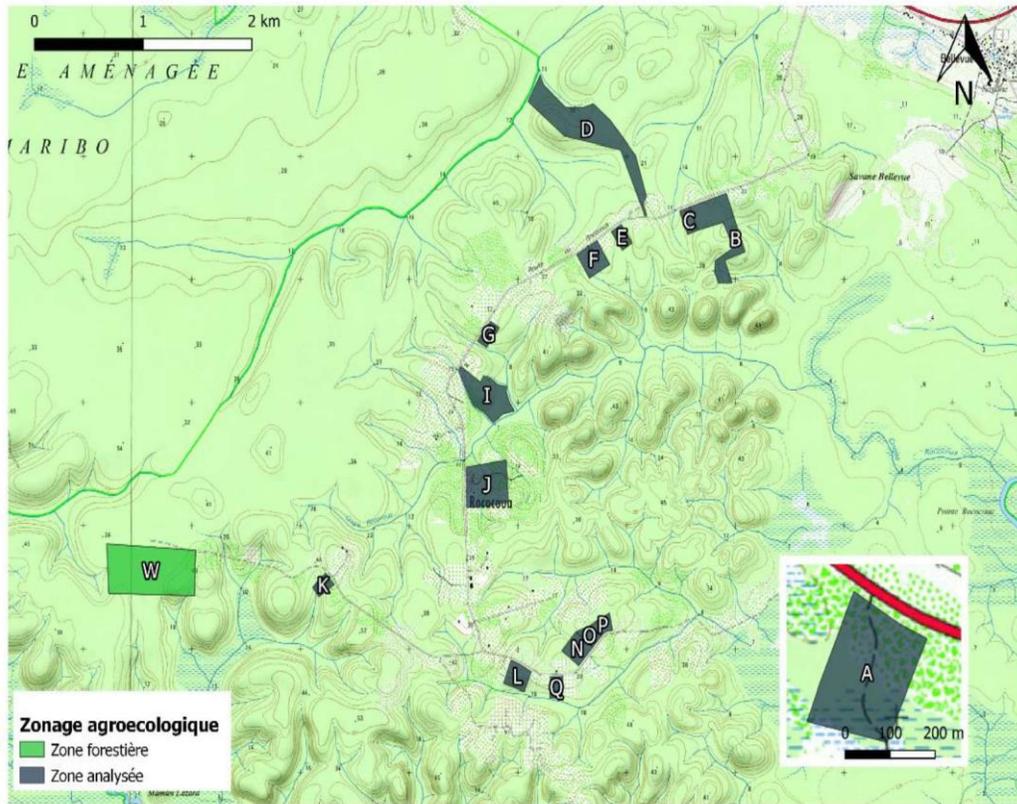
Un indice de la qualité globale du sol prend en compte ses 3 composantes (physique, chimique et biologique). Cette caractérisation permet de cibler les variétés selon la qualité du sol : une culture très exigeante rencontrera des difficultés de développement sur un sol de faible qualité, à l'inverse d'une culture peu exigeante. Un sol de bonne qualité pourrait accueillir une plus large gamme de variétés culturales.

II. Exemple de résultat du zonage Agro-écologique

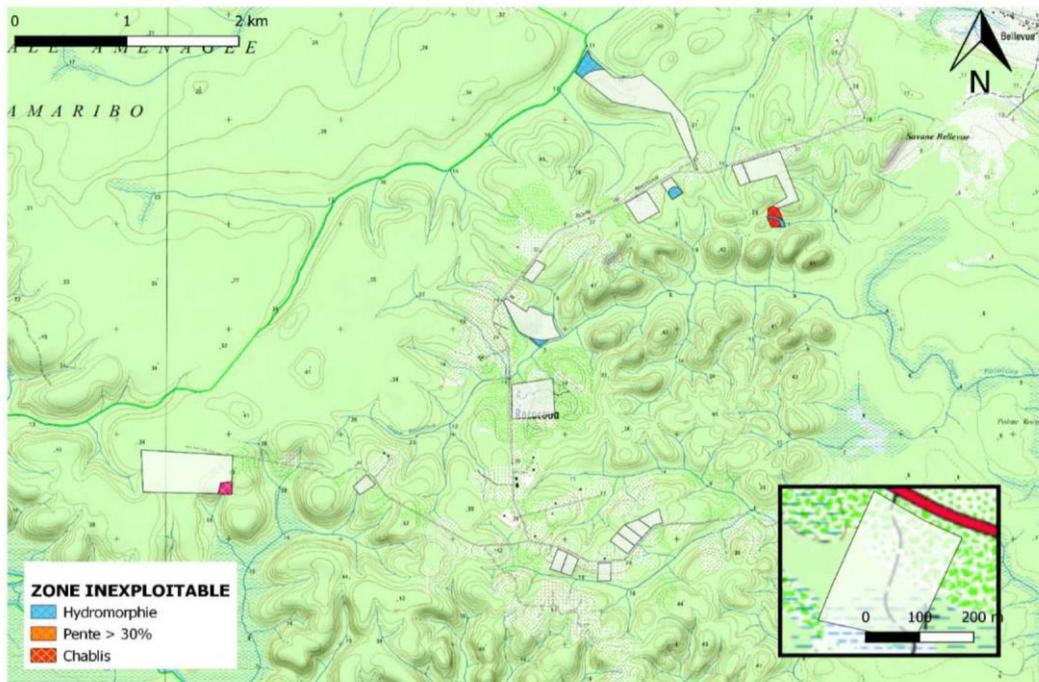
1. Carte générale des parcelles analysées et des zones inexploitable

L'emprise de ce travail regroupe 15 parcelles appartenant à des particuliers et une zone forestière sur la commune de Rococoua, pour une surface totale de 109 Ha. Les parcelles agricoles sont de taille variable (2 à 13 ha). La zone forestière a une superficie de 31 ha. A noter qu'une petite parcelle est excentrée, localisée à l'entrée d'Iracoubo (parcelle A).

	NOM	Ha		NOM	HA
A	REGIS Céline	5	J	TWEZIMANA Emmanuel	13
B	YANG Aline	12	K	VOLA Sagrientje	2
C	APPOLINAIRE Marie	2	L	COQ Charles	4
D	YANG Yann	12	N	ANATOLE Henri	4
E	OYHILY José	2	O	MAYEN Martine	2
F	GUNTER Sam	5	P	BOUTIN Marie-France	2
G	LACARRIERE Bruno	2	Q	ATTICA Marc	2
I	Anonyme	10	W	ZONE DE FORÊT	31
TOTAL					109



Carte 1 : Référence des parcelles étudiées sur la zone de Rocooua



Carte 2 : Carte de contraintes physique de la zone de Rocooua

L'étude topographique a été réalisée à partir des données du SRTM30, en l'absence d'une couverture LiDAR. Les observations sur le terrain ont permis de mettre en avant un manque de précision et parfois même des erreurs des informations cartographiques. Ceci s'explique par une échelle de pixellisation de 30 x 30 m ne prenant pas en compte les zones de variation topographique de moins de 30 mètres. De plus, le SRTM30 est également un modèle numérique de terrain dont le dispositif laser ne franchit que difficilement la canopée de la forêt tropicale humide qui est très dense. Ainsi, des fluctuations de niveaux d'altitude sont diagnostiquées entre zones défrichées et zones de forêt, faussant au passage les calculs de pourcentage de pente. Les observations de terrains ont permis de corriger ces erreurs et de localiser les réelles zones de fortes pentes sur la zone d'étude.

Dans la zone de forêt, on observe une zone de chablis. Il nous a été impossible de traverser cette zone de par la dense végétation et les nombreux arbres aux sols, il n'y a donc pas eu d'analyses sur cette zone de 1 Ha. Sur la totalité de la surface étudiée seuls 5 % ont été exclus car peu propice à une mise en valeur agricole (fortes pentes et hydromorphie).

Tableau 6 : Surface zone de contraintes physiques

	En Ha	En %
Zone d'hydromorphie	3	2,8 %
Zone de fortes pentes	2	1.8 %
Total	5	4.9 %

1. Résultat par parcelle

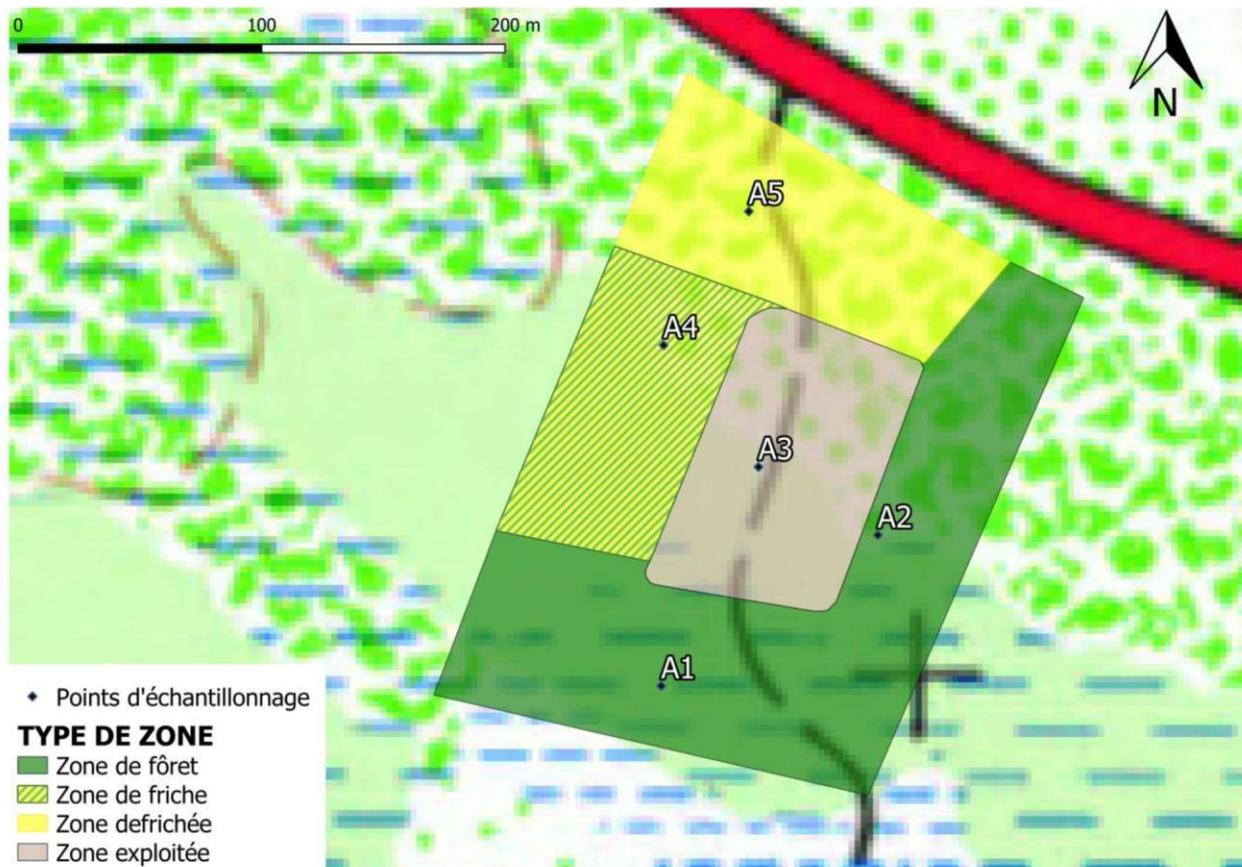
Dans cette partie les différentes parcelles sont analysées individuellement. Pour chaque parcelle, les informations suivantes sont indiquées :

- **Une carte d'étude du terrain** avec les points d'échantillonnage et les différents types (forêts, friches, zones défrichées, parcelles exploitées)
- **Des photos** caractéristiques de la parcelle et du sol
- **Les résultats des analyses chimiques, physiques et biologiques du sol** sont ensuite présentés avec trois tableaux. Chacun des tableaux accompagné d'une petite synthèse de résultats.
- **La carte des résultats** avec les zones exploitables et non exploitables (hydromorphie, pente à plus de 30%, chablis), les grands types de cultures préconisés à mettre en place (arboriculture, maraîchage, pâturage), la qualité globale des sols (faible qualité agronomique, moyenne qualité agronomique, forte qualité agronomique)

- **Descriptif par parcelle**, description de l'état actuel de la parcelle afin de définir le scénario de référence (enfrichement ou poursuite de culture), ainsi qu'une estimation des rendements à l'instant t en cas de culture en place
- **Remarques et conclusion** sur les résultats d'analyse de la parcelle
- **Préconisations** sous forme de liste des méthodes existantes permettant d'améliorer ses pratiques et ses choix d'itinéraires techniques
- **Signature** par un centre technique & scientifique public ou privé local

Exemple Parcelle : REGIS Céline (A)

- CARTE DES DIFFERENTS TYPES DE ZONES ENVIRONNEMENTALES



Carte 3 : Cartographie QGIS des différents types de zone environnementales de la parcelle A

La parcelle A est très hétérogène. Les points sur la carte représentent la localisation de prélèvements des échantillons.

	En Ha	En %
Zone de forêt	2	40 %
Zone de friche	1	20 %
Zone défrichée	1	20 %
Zone exploitée	1	20 %

- **PHOTOS CARACTERISTIQUES DE LA PARCELLE**



Photo 2 : Plan d'ensemble et carottage d'une zone cultivée de la parcelle A avec principalement des plantations de manioc et banane



Photo 3 : Plan d'ensemble et carottage d'une zone défrichée de la parcelle A



Photo 4 Ensemble et carottage d'une zone forestière de la parcelle A

- LES RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES, PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES DU SOL

Qualité physique du sol

- Le sol est hétérogène
- La zone en friche et la zone défrichée (A4 et A5) sont très sableuse tandis que les zones de forêt et les zones exploitées (A1, A2, A3) contiennent un peu plus d'argiles.

	DONNES PHYSIQUES			
	TEXTURE en %			Indice de qualité de la texture du sol
	Argile	Limons	Sables	
A1-	24,9	15,9	55,6	Tres bon
A2-	2,3	3,0	93,9	Mauvais
A3-	11,6	7,0	79,5	Bon
A4-	0,5	1,4	97,2	Mauvais
A5-	0,3	0,8	97,7	Mauvais

Qualité biologique du sol

- Dans l'ensemble l'indice de qualité biologique de la parcelle est mauvais
- On peut noter que la zone de forêt (A1) du fond de la parcelle présente un bon indice de qualité biologique

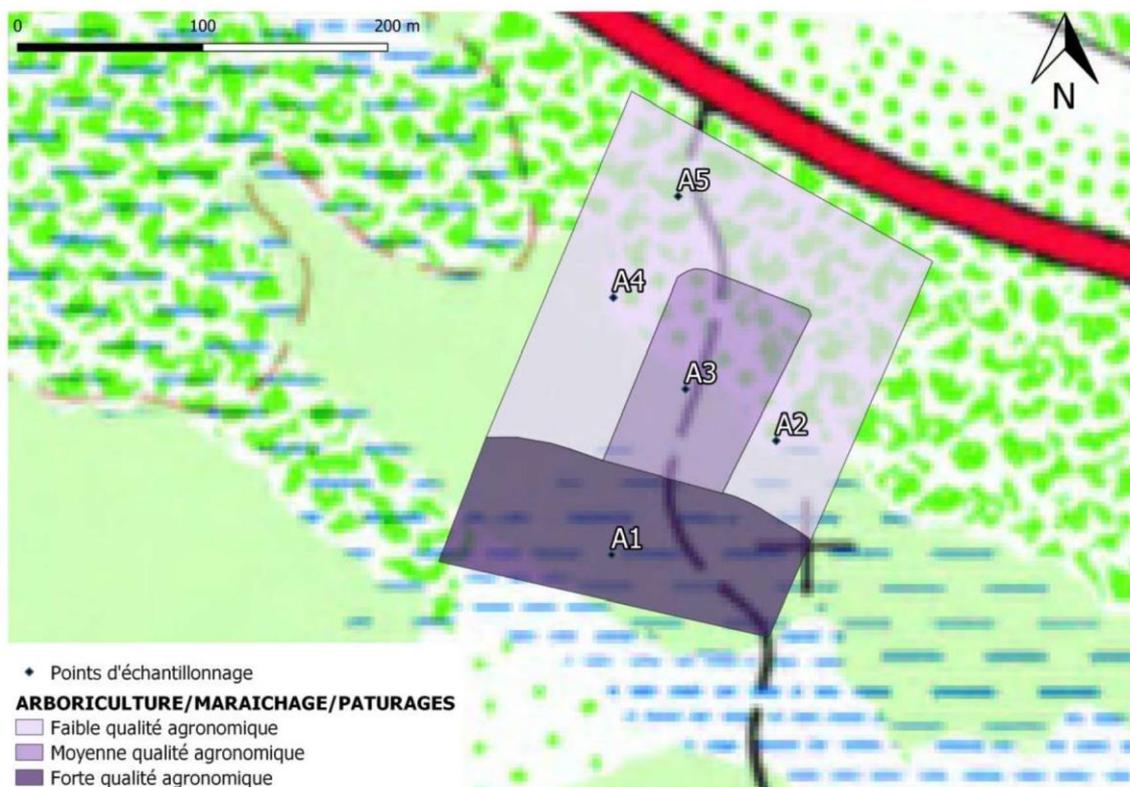
	DONNEES BIOLOGIQUES	
	RESPIRATION en ($\mu\text{g/gsol/h}$)	Indice de qualité biologique
A1-	4,11	Bon
A2-	0,81	Mauvais
A3-	1,24	Mauvais
A4-	0,61	Mauvais
A5-	0,83	Mauvais

Qualité chimique du sol

- La parcelle présente des teneurs en matière organique variable. Les teneurs sont faibles sauf pour l'échantillon de sol de forêt A1
- Il est remarqué une faible teneur en éléments nutritifs sur l'ensemble de la parcelle comme généralement sur la globalité des sols guyanais
- 3 échantillons (A1, A2, A3) présentent des pH acides tandis que A4 et A5 sont proches d'un pH neutre.

	DONNEES CHIMIQUES							
	Matière organique en %	Indice de contrainte liée à la matière organique	Azote (N)	Potassium (K ₂ O)	Phosphore (P ₂ O ₅)	Magnésium (MgO)	Ratio	pH
							en kg / T	
A1	3,63	Nulle	1,61	0,062	0,028	0,127	13,1	4,57
A2	0,77	Forte	0,64	0,013	0,010	0,029	7,0	5,07
A3	1,88	Legere	0,85	0,034	0,013	0,047	12,9	4,84
A4	0,83	Moderee	0,43	0,01	0,013	0,032	11,2	6,17
A5	1,25	Moderee	0,45	0,01	0,010	0,02	16,2	6,01

• CULTURES ENVISAGEABLES ET QUALITE AGRONOMIQUE DES SOLS



Carte 4 : Cartographie QGIS des résultats de la qualité agronomique de la parcelle A

	ZONE ARBORICULTURE/MARAICHAGE/PATURAGES		
	Faible qualité agronomique	Moyenne qualité agronomique	Forte qualité agronomique
En Ha	3	1	1
en %	60	20	20

- REMARQUES

- Les sols sont profonds : tous les grands types de cultures (pâturage, maraichage, arboriculture) sont envisageables sur cette parcelle.
- La zone autour des échantillons A1 et A2 est une zone de forêt. Les propriétés agronomiques (par exemple, la teneur en MO) peuvent être fortement perturbées par la défriche. Des itinéraires techniques de défriche existent pour limiter ces impacts négatifs (cf. préconisations globales).
- A1 a une très bonne qualité agronomique.
- La texture très sableuse des zones A2, A4 et A5 peut être problématique pour une mise en culture. Ces sols sont facilement lessivables. L'apport de charbon permettra d'améliorer les propriétés physiques du sol, notamment la rétention d'eau, de la MO et des éléments nutritifs.
- Les zones (A2, A3, A4 et A5) présentent des sols de faible qualité biologique et de faible teneur en éléments nutritifs. Nous conseillons d'améliorer ces deux composantes.
- Le pH des 3 premières zones (A1, A2 et A3) est très faible comme sur la globalité des sols guyanais. Nous conseillons de choisir des cultures acidophiles ou d'améliorer le le pH de son sol.

- CONCLUSION

Tableau avec les numéros des parcelles dont l'état de dégradation justifie un processus de restauration mentionnant le scénario de référence ainsi qu'une estimation de rendement en cas de culture en place.

- PRECONISATIONS

Liste des méthodes que l'agriculteur pourrait utiliser pour améliorer ses pratiques et ses choix d'itinéraires techniques.

Date et signature du professionnel