



Projet Aménagement durable du bassin-versant de Limbé et mesure de l'impact environnemental des activités agricoles – Nord-Haïti (PAD NORD)

Rapport de synthèse des études de l’empreinte
environnementale du projet



Principaux partenaires financiers du projet:



Version finale
mai 2017

Auteurs & remerciements

Auteurs

Le présent document a été rédigé par :

Dr Clovis GRINAND, Géographe pédologue, Etc Terra

Frédérique MONTFORT, Ecologue, Etc Terra

Hérauld MUSEAU, Agronome, chef de projet PAD NORD, Agrisud International

Genève DEROSIN, Agronome, responsable de zone projet PAD NORD

A partir des documents produits par :

Dr Martial BERNOUX, Agropédologue, UMR Eco&Sol, IRD

Louis Juste CHARLES, Etudiant agronome, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV), Université d'Etat d'Haïti (UEH)

Allen JOSEPH, Etudiant agronome, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) de l'Université d'Etat d'Haïti (UEH)

Nicolas SALAÛN, Chargé de mission « impact agro-environnemental », Agrisud International

Dave-Son VAL, Etudiant agronome, Faculté d'agronomie, Université Chrétienne du Nord d'Haïti (UCNH)

Remerciements

Le projet PAD Nord-Haïti, porté par l'association Agrisud International en partenariat avec GRADIMIRH et Etc Terra, a été soutenu financièrement par l'Agence Française de Développement (AFD) et par la Région Aquitaine de 2013 à 2017.

Les auteurs remercient les Mairies et organisations de producteurs impliqués dans le projet, les populations qui ont participé aux mesures et suivi environnementaux, la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire de l'Université d'Etat d'Haïti et l'Université Chrétienne du Nord d'Haïti (Limbé) pour leur collaboration et l'IRD pour son appui spécifique sur l'évaluation de l'empreinte carbone du projet.

Les remerciements vont également à Airbus pour la fourniture d'images satellite Pléiades.

Résumé exécutif

Contexte

Le Projet d'Aménagement Durable du bassin-versant de Limbé et mesure de l'impact environnemental des activités agricoles (PAD Nord) a pour objectif principal d'aménager et de valoriser durablement le bassin versant de Limbé en tenant compte du développement des filières agricoles et de la protection des ressources naturelles. Ce projet, mis en œuvre par Agrisud International en partenariat avec GRADIMIRH et Etc Terra, est déployé sur 4 communes : Limbé, Bas Limbé, Acul du Nord et Marmelade, dans lesquelles 10 unités d'aménagements locales (UAL) ont été mises en place.

Ce document s'inscrit dans la composante visant au développement de méthodes d'analyse et de suivi de l'empreinte environnementale des activités du projet en termes de Gaz à effet de serre (GES) et de préservation des ressources naturelles (sol, eau et biodiversité). Il a pour but de décrire la méthodologie, les analyses réalisées et les résultats clés des dispositifs de suivi des indicateurs environnementaux mis en place au cours du projet.

Méthodologie générale

Au regard des problématiques environnementales locales, des objectifs et des moyens du projet, 6 indicateurs environnementaux d'intérêts ont été identifiés et les dispositifs de suivi de ces indicateurs ont été mis en œuvre par la suite comme suit :

- *Etat de référence des stocks de carbone dans le sol* : étude ponctuelle, 90 placettes dans 5 UAL ont été échantillonnées pour le dosage du carbone organique réalisé par la suite en laboratoire.
- *Séquestration du carbone dans la biomasse aérienne* : étude ponctuelle, les relevés dendrométriques (hauteur et diamètre) ont été réalisés sur les 9 espèces dominantes dans 30 exploitations agricoles et 8 UAL, la biomasse a ensuite été estimée par l'utilisation d'une équation allométrique.
- *Suivi de la ressource en eau* : mesure en continu de la pluviométrie à l'aide de 3 pluviomètres (deux à lecture directe et un automatique), du débit de la source Peltan par la méthode de traçage au sel et de la hauteur piézométrique du puits Peltan.
- *Evaluation de la qualité des sols* : mesure en deux temps (début et fin de projet) de la densité et la biomasse lombricienne sur 24 placettes dans 3 UAL et dans différents systèmes agricoles.
- *Empreinte carbone des exploitations* : mesure ponctuelle des émissions de gaz à effet de serre et de la séquestration de carbone liés aux activités agricoles dans 30 exploitations (8 UAL) divisé en 5 catégories, avec l'outil EX-ACT développé par la FAO.
- *Bilan carbone du projet* : mesure ponctuelle de l'impact du projet sur les émissions de GES et la séquestration de carbone estimé avec l'outil EX-ACT.

Résultats marquants par indicateur

L'étude des stocks de carbone dans le sol a montré que la variabilité des stocks de carbone est fortement conditionnée par la topographie et le type de système de culture en place. Les placettes situées sur les zones de piémont présentant de faibles pentes sont celles qui présentent en moyenne le stock de carbone le plus élevé. De même, le système igname en agroforesterie semble favoriser le stockage de carbone.

L'étude sur la séquestration du carbone dans la biomasse aérienne a montré que les dynamiques de séquestration du carbone sont liées aux caractéristiques propres à l'espèce, à l'âge de l'arbre et à la densité du bois. La capacité de séquestration augmente avec l'âge de l'arbre et est plus forte pour les espèces présentant une densité du bois supérieur à 0,5 g. cm³.

Le dispositif de suivi de la ressource en eau a permis de collecter un grand nombre de données sur la pluviométrie, la variabilité du débit de la source et de la hauteur piézométrique.

L'évaluation de la qualité des sols par la densité et la biomasse lombricienne a permis de démontrer que les pratiques agroécologiques mises en œuvre par les producteurs sont profitables au maintien et au développement de la densité lombricienne dans le sol et ont donc des effets positifs sur le fonctionnement biologique du sol.

L'étude de l'empreinte carbone des exploitations a montré que le poste d'émission de gaz à effet de serre (GES) le plus important est le bétail (7.29 t eqCO₂/ha). Le poste de séquestration de GES le plus important est représenté par le système pérenne (-2.17 t eqCO₂/ha) tandis que les pratiques agroécologiques (-0.42 t eqCO₂/ha) constituent le poste le moins important.

L'étude du bilan carbone du projet montre que la mise en place du projet, par rapport à une ligne de base sans projet, s'accompagne d'une réduction des émissions et surtout une séquestration de carbone, avec un bilan net de -22 437 tCO₂-eq sur 400 ha sur 20 ans, ce qui constitue une très bonne performance.

Conclusions et perspectives

Toutes ces études et mesures pour la plupart innovantes dans la région, ont permis de fournir des éléments indispensables à la connaissance des ressources naturelles du bassin-versant de Limbé. Elles pourront par la suite permettent de proposer des recommandations pour la gestion et la conservation de ces ressources et être complétées par des mesures plus spécifiques.

Sommaire

AUTEURS & REMERCIEMENTS	2
RESUME EXECUTIF	3
SOMMAIRE	5
LISTE DES ABREVIATIONS	7
1. INTRODUCTION	8
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	8
1.2. LE PROJET PAD – NORD	9
1.2.1. <i>Objectifs et résultats attendus</i>	9
1.2.2. <i>Zone d'intervention</i>	10
1.2.3. <i>Stratégies et aménagements</i>	12
1.3. METHODE D'ÉVALUATION DE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DU PROJET	13
1.3.1. <i>Choix des indicateurs environnementaux d'intérêt</i>	13
1.3.2. <i>Dispositif de mesure et de suivi</i>	13
2. ETAT DE REFERENCE DES STOCKS DE CARBONE DANS LES SOLS	15
2.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	15
2.2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	15
2.2.1. <i>Etude de pré-échantillonnage</i>	15
2.2.2. <i>Plan d'échantillonnage</i>	16
2.2.3. <i>Analyse des échantillons de sol en laboratoire</i>	17
2.2.4. <i>Calcul du stock de carbone</i>	18
2.2.5. <i>Analyse des données</i>	18
2.3. RESULTATS PRINCIPAUX	19
2.3.1. <i>Influence des différents facteurs</i> :.....	19
2.3.2. <i>Stock de carbone en fonction du système de culture</i> :.....	19
2.3.3. <i>Stock de carbone et position sur le versant</i> :.....	20
2.3.4. <i>Stock de carbone et pente</i> :.....	21
2.3.5. <i>Stock de carbone et autres facteurs</i>	21
2.3.6. <i>Stock de carbone par UAL</i> :.....	22
2.4. CONCLUSION DE L'ÉTUDE	22
3. SEQUESTRATION DU CARBONE DANS LA BIOMASSE	24
3.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	24
3.2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	24
3.2.1. <i>Inventaires des espèces ligneuses</i>	24
3.2.2. <i>Mesures dendrométriques</i>	24
3.2.3. <i>Détermination des coefficients de séquestration de carbone</i>	25
3.3. RESULTATS PRINCIPAUX	26
3.3.1. <i>Inventaires exhaustives des espèces ligneuses</i>	26
3.3.2. <i>Mesures dendrométriques effectuées</i>	27
3.3.3. <i>Croissance des arbres</i>	27
3.3.4. <i>Coefficients de séquestration</i>	28
3.4. CONCLUSION DE L'ÉTUDE	29
4. SUIVI DE LA RESSOURCE EN EAU	30
4.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	30
4.2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	30
4.2.1. <i>Approche générale</i>	30
4.2.2. <i>Mesure de la pluviométrie</i>	31

4.2.3.	<i>Mesure du débit de la source</i>	32
4.2.4.	<i>Mesure de la piezométrie</i>	33
4.2.1.	<i>Choix de l'UAL</i>	33
4.3.	RESULTATS PRINCIPAUX	33
4.3.1.	<i>Températures</i>	33
4.3.2.	<i>Mesure de la pluviométrie</i>	34
4.3.3.	<i>Mesure du débit à la source</i>	35
4.3.4.	<i>Mesure de la piezométrie</i>	36
4.3.5.	<i>Influence de la pluviométrie</i>	36
4.3.6.	<i>Comparaison avec les données historiques</i>	37
4.4.	CONCLUSION DE L'ETUDE	39
5.	EVALUATION DE LA QUALITE DES SOLS	40
5.1.	OBJECTIFS DE L'ETUDE	40
5.2.	DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	41
5.2.1.	<i>Plan d'échantillonnage</i>	41
5.2.2.	<i>Méthodes d'échantillonnage</i>	42
5.2.3.	<i>Analyse des données</i>	43
5.3.	RESULTATS PRINCIPAUX	43
5.3.1.	<i>Comparaison des systèmes agricoles</i>	44
5.3.2.	<i>Comparaison des UAL</i>	44
5.3.3.	<i>Influence de la jachère sur la présence de vers de terre</i>	45
5.3.4.	<i>Influence de la pente sur la présence de vers de terre</i>	45
5.3.5.	<i>Evolution de la présence de vers de terre après 1 an</i>	46
5.4.	CONCLUSION DE L'ETUDE	48
6.	EMPREINTE CARBONE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES	49
6.1.	OBJECTIFS DE L'ETUDE	49
6.2.	DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	49
6.2.1.	<i>Définition d'un échantillon d'exploitations agricoles représentatives</i>	49
6.2.2.	<i>Enquête terrain auprès des exploitations agricoles</i>	50
6.2.3.	<i>Inventaire des espèces ligneuses sur les parcelles des exploitations</i>	51
6.2.4.	<i>Calcul de l'empreinte carbone des exploitations agricoles enquêtées</i>	51
6.2.5.	<i>Analyse statistique des résultats</i>	53
6.3.	RESULTATS PRINCIPAUX	53
6.3.1.	<i>Description des exploitations enquêtées</i>	53
6.3.2.	<i>Empreinte ou bilan carbone des exploitations agricoles</i>	54
6.4.	CONCLUSION DE L'ETUDE	56
7.	BILAN CARBONE DU PROJET PAD NORD	57
7.1.	OBJECTIFS DE L'ETUDE	57
7.2.	DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	57
7.2.1.	<i>Choix de l'outil pour le bilan carbone</i>	57
7.2.2.	<i>Principe de l'analyse à l'échelle projet</i>	57
7.2.3.	<i>Bilan ex-ante du projet</i>	58
7.3.	RESULTATS PRINCIPAUX	59
7.4.	CONCLUSION DE L'ETUDE	61
8.	CONCLUSION GENERALE	62
9.	BIBLIOGRAPHIE	63
ANNEXES	64

Liste des abréviations

CHNAEP : Alimentation en Eau Potable

AFD : Agence Française de Développement

ANOVA : Analysis Of VAriance (Analyse de la variance)

BV : Bassin versant

DHP ou D : Diamètre à hauteur de poitrine

EA : Exploitation agricole

EX-ACT : Ex Ante Carbon-balance Tool

FAMV : Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GPS : Global Positioning System

GRADIMIRH : Groupement de Recherche et d'Action pour le Développement Intégrée du Milieu Rural Haïtien.

H : Hauteur

Ha : Hectare

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

PAC : Plan d'aménagement communal

PAD : Projet d'Aménagement Durable

PAL : Plan d'aménagement Local

SAU : Surface Agricole Utile

SIG : Système d'information Géographique

UAL : Unités d'Aménagement Locales

UCNH : Université Chrétienne du Nord d'Haïti

UEH : Université d'Etat Haïtien

UMR : Unité Mixte de Recherche

VDT : Ver de terre

1. Introduction

1.1. Contexte et Objectifs

Le projet d'Aménagement Durable du Bassin-versant de Limbé-Nord Haïti (PAD Nord) (Figure 1), a débuté en Août 2013. Il a pour objectif principal d'aménager et de valoriser durablement le bassin-versant de Limbé en tenant compte du développement des filières agricoles et de la protection des ressources naturelles. Ce projet, cofinancé par l'Agence Française de Développement (AFD) et la Région Aquitaine, est mis en œuvre par Agrisud International en partenariat avec GRADIMIRH et Etc Terra.

Ce projet met en œuvre des activités de restauration globale de l'environnement des exploitations agricoles. Parmi ces activités, l'équipe projet accompagne les producteurs dans le renforcement et l'amélioration de leurs systèmes de production à travers la diffusion de pratiques agroécologiques en réponse aux différentes contraintes identifiées sur les exploitations.

Le renforcement des systèmes agricoles proposé dans le cadre de ce projet est mesuré en termes d'atténuation du changement climatique et d'impact sur les ressources naturelles (eau, sol et biodiversité), à travers la mise en place de dispositifs adaptés de caractérisation et de suivi d'indicateurs environnementaux. Un des objectifs du PAD Nord est donc de mesurer son impact environnemental afin de pouvoir faire la promotion de certaines pratiques culturelles durables et de plaider pour un déploiement de ces pratiques à plus large échelle dans le territoire Haïtien.

L'objectif sous-jacent de ces mesures environnementales est double 1) caractériser un état environnemental en fournissant des valeurs de référence sur un territoire à un moment donné et 2) détecter et quantifier les effets des changements des pratiques agricoles induit par les appuis du projet.

Ce rapport de synthèse vise à présenter les différents dispositifs de mesure d'impact environnemental mis en place, les analyses réalisés et les résultats clés, afin de capitaliser sur l'expérience acquise au cours du projet.

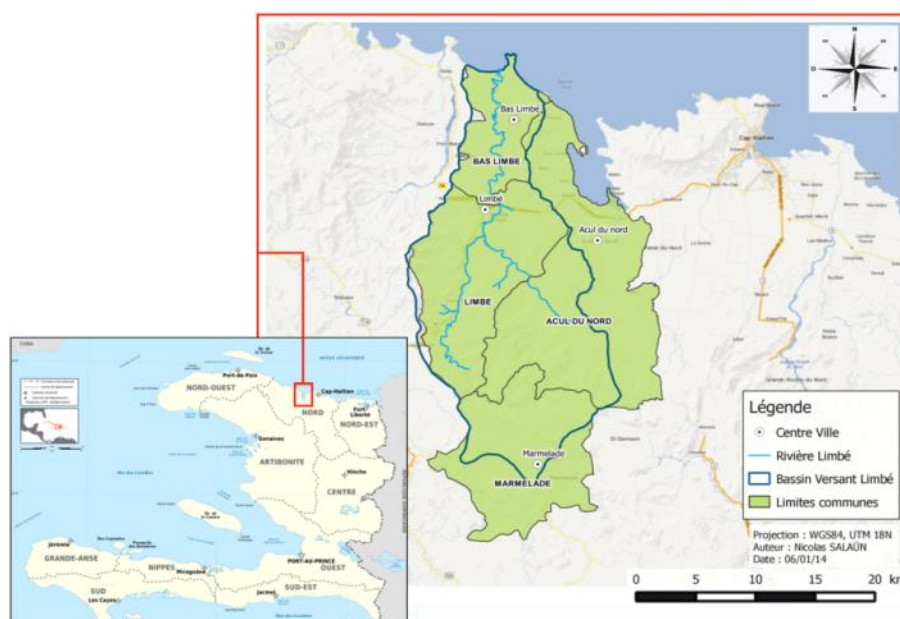


Figure 1 : Localisation du Bassin versant de Limbé-Nord à Haïti

1.2. Le projet PAD – Nord

1.2.1. Objectifs et résultats attendus

Objectifs globaux :

- Lutter contre la pauvreté et contribuer au développement économique et social durable des populations rurales.
- Contribuer à la préservation et valorisation des ressources naturelles (eau, sol, biodiversité).
- Contribuer à l'adaptation et la lutte contre le changement climatique (résilience de systèmes agricoles, réduction des émissions agricoles de GES et séquestration de carbone).

Objectifs spécifiques :

- Aménager et valoriser durablement le bassin-versant de Limbé en tenant compte du développement des filières agricoles et de la protection des ressources naturelles

Résultats attendus :

RESULTAT 1 : Des systèmes agricoles performants aux plans techniques, économiques et environnementaux, sont mis en œuvre par les familles d'agriculteurs de la zone.

- 700 familles d'agriculteurs formées à la mise en œuvre des pratiques agroécologiques. Au moins 600 familles qui ont amélioré leurs systèmes de production dont 60 maîtres-exploitants mettant en œuvre un ensemble complet de pratiques agroécologiques. 200 à 300 € de revenus additionnels par producteur et par an dégagés grâce aux changements de pratiques (1 à 2 année après adoption en fonction des systèmes et pratiques adoptées).

RESULTAT 2 : Des plans d'aménagement des bassins-versants sont élaborés et mis en œuvre aux échelles communales et locales (villages).

- 4 plans d'aménagement prioritaires du bassin-versant ont été élaborés avec les mairies des 4 communes, et mis en œuvre à travers 16 unités d'aménagements locaux. 400 ha d'espaces agricoles ont été sécurisés au profit des familles. 156 000 arbres et 528 000 boutures d'herbacées ont été plantés sur 400 ha de parcelles, Au moins 1 000 tonnes de CO2 séquestrées chaque année en moyenne sur 20 ans, grâce aux plantations. 1 020 000 € de CA sur 10 ans, en valorisation des productions forestières et fruitières sur 400 ha.

RESULTAT 3 : La préservation des ressources naturelles (eau, sol et biodiversité) et les bilans GES (séquestration de carbone / réduction d'émissions) sont améliorés grâce aux systèmes de production promus, les résultats et effets sont évalués.

- L'empreinte environnementale du projet et le potentiel d'atténuation du changement climatique à court et moyen terme sont évalués. 100 exploitations agricoles étudiées. 250 parcelles et 1 000 échantillons de sol analysés. 8 sources et points d'eau étudiés.

RESULTAT 4 : Les résultats sont capitalisés et diffusés, les partenaires locaux sont formés pour une réplication du projet à plus large échelle.

- Des modèles de déploiement du projet à large échelle sont élaborés et les conditions de réplifications sont clairement identifiées. 3 outils de capitalisation (mise en œuvre des pratiques agroécologiques, évaluation carbone et empreinte environnementale de projet, SIG). 4 programmes de déploiement élaborés avec les organisations de producteurs et autorités locales.

1.2.2. Zone d'intervention

Localisation

Le bassin-versant de Limbé se situe à 250 km de route au Nord de la capitale Port-au-Prince et 12 km à l'ouest de Cap Haïtien. Il s'étend sur 31 000 ha et son affluent principal, la rivière Limbé, a son exutoire dans l'océan Atlantique Nord. L'altitude varie de 0 à 755 m. Le projet est déployé sur les 4 communes ayant une partie ou la totalité de leur territoire dans le bassin-versant hydrographique : Limbé, Bas Limbé, Acul du Nord et Marmelade (Figure 2). Les deux communes de Limbé et Bas-Limbé sont complètement incluses dans le bassin-versant de Limbé. Les deux autres communes possèdent environ la moitié de leur territoire dans le bassin-versant.

Pluviométrie et température

La pluviométrie varie peu, de 1 680 mm à 1 810 mm, avec des fortes variabilités locales et un gradient de pluviosité nord-est sud-ouest (Worldclim). La température moyenne annuelle enregistrée à Limbé est de 25.8°C.

Relief

Le modèle se découpe en deux ensembles géomorphologiques dominants : les plaines et les mornes. Les mornes correspondent aux collines et relief d'une centaine de mètres d'élévation. Les mornes peuvent être découpées en trois sous-ensembles : le piémont, les versants et la crête. Le bassin-versant de Limbé est, d'après la carte physique (Figure 2), dominé par des paysages de mornes bien que les plaines semblent dominer dans les deux communes en aval (Limbé et Bas Limbé). Les deux autres communes sont dominées par des mornes sur les parties de leur territoire incluses dans le bassin-versant

Pédologie

Le sous-sol est de deux types, des dépôts alluvionnaires sur les plaines, et des formations volcaniques de type andésites basiques, sur les reliefs à l'exception de certains modelés qui ont des faciès de type calcaire (Bureau des Mines et de l'Energie, 2005).

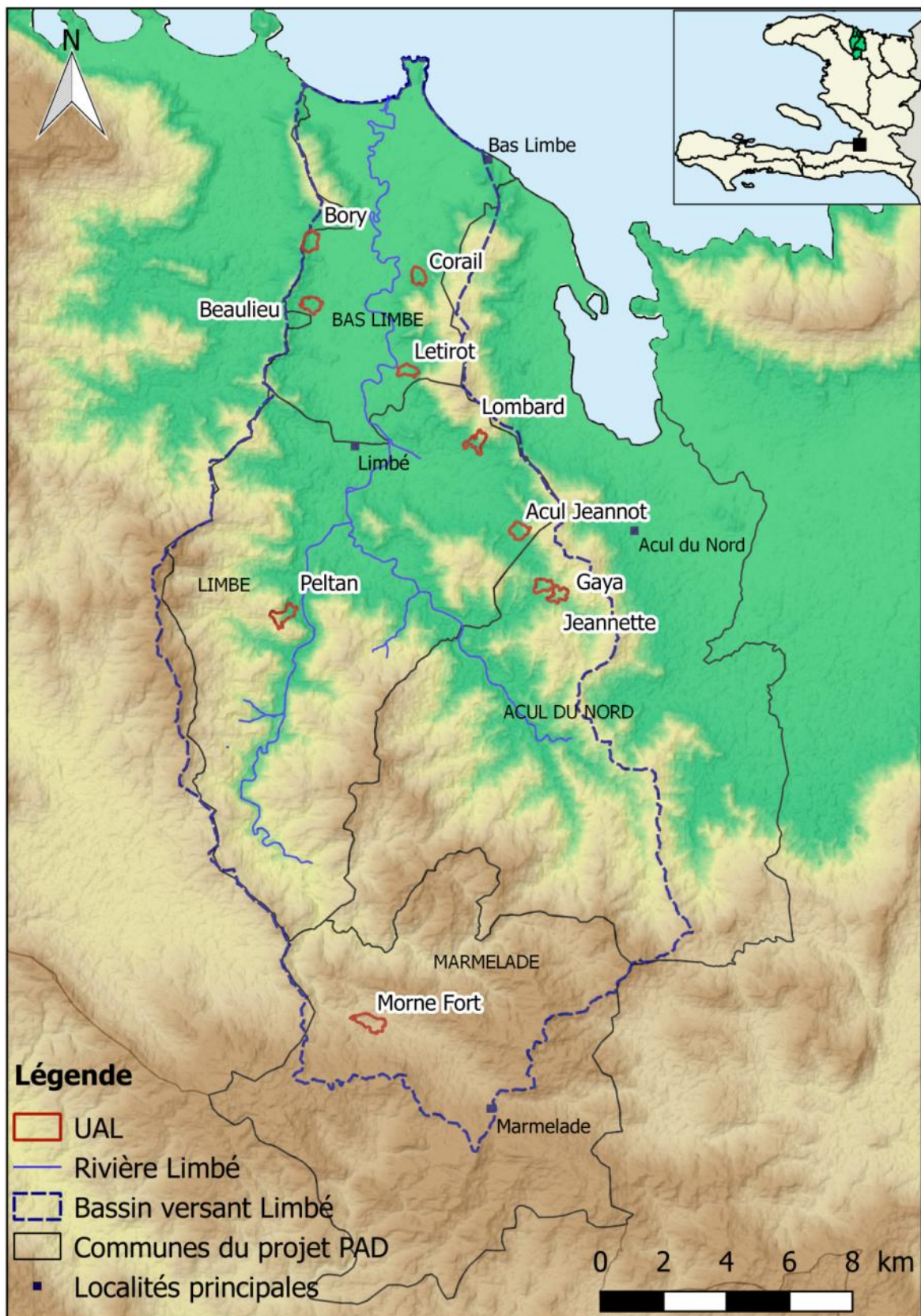


Figure 2 : Cartographie physique du bassin versant de Limbé et des limites administratives des 4 communes du projet PAD Nord. Le fond de carte représente le relief (altitude et ombrage). Les couleurs correspondent aux unités géomorphologiques de la région, en vert les plaines, en jaune les piémonts et en marron les mornes.

1.2.3. Stratégies et aménagements

Stratégie :

La stratégie du projet s'appuie sur la mise en place de plans d'aménagement des bassins versants à l'échelle des communes (PAC) et l'appui des organisations locales et villages dans la mise en œuvre de plans de valorisation à l'échelle locale (PAL). La première action est réalisée avec les mairies des 4 communes concernées par le projet et permet d'identifier les ressources, acteurs et zones prioritaires à aménager ou valoriser. La deuxième action est réalisée au niveau des zones prioritaires identifiées et directement avec les organisations locales. L'existence d'une organisation et d'une volonté locale de valoriser leur territoire sont les principaux critères de choix des localités d'intervention du projet. Le mode de travail communautaire appelé « kombit », très répandu à Haïti pour les travaux d'intérêt général (réfection ou ouverture de routes, labour, plantation, etc.) est largement sollicité dans ce projet pour la réalisation des aménagements et mise en œuvre de nouveaux systèmes de culture sur l'ensemble d'un versant.

Aménagements

La première étape vise à délimiter une unité d'aménagement locale cohérente d'un point de vue du versant, c'est-à-dire du bas vers le haut du versant, sur lequel l'ensemble des propriétaires est prêt à s'impliquer sur la valorisation de leur parcelle. Ces unités d'aménagements locales (UAL) sont appelées communément blocs. Les aménagements et systèmes de culture promus dans le projet sont établis au cas par cas en fonction des blocs et de manière participative avec l'organisation. Les propositions techniques s'organisent cependant par position topographique : plaine inondable, plaine sèche, piémont, pente faible, pente forte. Les systèmes de piémont étant souvent déjà utilisés de manière intensive (« jardin créole », agroforesterie, culture de tarots, igname, etc.), un effort particulier est réalisé sur l'aménagement des versants où la culture du manioc domine. La mise en place de rampes antiérosives le long des courbes de niveau, l'introduction de plantes fourragères pour le bétail (végétalisation dense) et arbres (embocagement) sur ces rampes fait partie des aménagements les plus souvent conseillés (Figure 3).

Figure 3 : Photo d'un aménagement de rampe antiérosive avec plantes fourragères (herbe à éléphant) et plantation d'arbres sur une parcelle de manioc, associé à du maïs et du pois congo.



1.3. Méthode d'évaluation de l'empreinte environnementale du projet

A travers la formation et la promotion de systèmes de cultures performants aux points de vue technique, économique et environnemental ainsi que l'aménagement de bassin-versant, le projet espère avoir un impact positif sur l'environnement local et global. L'environnement est ici considéré à travers quatre composantes : les stocks et flux de GAZ à EFFET de SERRE (GES), la ressource SOL, la ressource EAU et la ressource BIODIVERSITE. Chacune peut être approchée qualitativement et quantitativement à partir d'indicateurs plus ou moins communément utilisés.

Afin d'évaluer l'empreinte environnementale du projet, des dispositifs de suivi de plusieurs indicateurs environnementaux ont été mis en œuvre en partenariat avec la faculté d'Agronomie de l'Université d'Etat d'Haïti et l'équipe projet, avec l'appui d'Etc Terra tout au long du projet et d'une mission d'appui scientifique de l'IRD.

1.3.1. Choix des indicateurs environnementaux d'intérêt

La première étape a été d'identifier les indicateurs d'intérêt au regard des problématiques environnementales locales, des objectifs du projet, des aménagements et réalisations envisagées, et les moyens (ressources humaines et financières) disponibles. Ils ont été synthétisés dans une matrice qui détaille les objectifs, hypothèses scientifiques sous-jacentes, dispositifs à mettre en place, types de mesure, données et outils à mobiliser (Annexe 1). Cette matrice a fourni un cadre de travail préliminaire et synthétique en début de projet. Il est nécessaire ensuite de développer les activités à réaliser de manière séparée pour chaque indicateur.

1.3.2. Dispositif de mesure et de suivi

Le dispositif de mesures environnementales à mettre en place dépend en définitive de la manière dont l'indicateur varie dans le temps. Trois dispositifs ou types d'indicateurs ont été identifiés en amont du projet et sont résumés dans le Tableau 1. Il est important de souligner ici que certains effets ne pourront pas être visibles sur la durée du projet qui est de 3 ans parce que leur dynamique est lente, et à l'inverse d'autres auront des niveaux différents chaque jour.

Tableau 1: Type d'indicateurs et dispositifs

Dynamique de l'indicateur environnemental	Dispositif	Exemple d'indicateur	Approche scientifique
L'indicateur n'évolue pas beaucoup au cours de l'année	Etude ponctuelle	Bilan GES exploitation ou projet, séquestration du carbone dans le bois et dans le sol	Synchrone (x site / 1 mesure dans le temps)
L'indicateur évolue beaucoup au cours de l'année	Mesure en continu	Débit, réserve en eau des sols, ruissellement	Diachronique (1 site / x mesure dans le tps)
L'indicateur évolue beaucoup au cours du projet mais pas beaucoup sur une année	Mesure avant / après	Biodiversité forestière, biodiversité du sol	

Au cours des missions successives, la matrice d'indicateurs établie au départ a été revue et affinée. Des indicateurs ont été ajoutés pour les thèmes qui nécessitaient plus d'investigation et certains ont été écartés car difficile à mettre en œuvre.

L’empreinte environnementale des activités du projet a été au final étudiée à travers 6 indicateurs (Tableau 2). Chaque indicateur est présenté de manière détaillée à la suite.

Les études ponctuelles ont été réalisées avec le partenaire scientifique local (FAMV) avec un co-encadrement de l’équipe projet composée de l’assistant technique sur place et un chargé de projet Etc Terra. Les mesures (en continu ou avant/après) ont été réalisées entièrement par l’équipe projet, avec appui ponctuel d’étudiants pour réaliser certaines campagnes de mesure.

Tableau 2 : Matrice des indicateurs retenus

Thème / Ressource	Indicateurs	Dispositifs de mesure
Sol, Climat	Etat de référence des stocks de carbone dans le sol	Etude ponctuelle
Biomasse, Climat	Séquestration du carbone dans la biomasse aérienne	Etude ponctuelle
Eau	Suivi de la ressource en eau	Mesure en continu
Biodiversité, Sol	Evaluation de la qualité des sols	Début/fin de projet
Climat	Empreinte carbone des exploitations	Etude ponctuelle
Climat	Bilan carbone du projet PAD Nord	Etude ponctuelle

2. Etat de référence des stocks de carbone dans les sols

2.1. Objectifs de l'étude

La matière organique des sols est un des déterminants essentiels de nombreuses propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol, son étude en termes de qualité, d'évolution et de stockage selon le mode de gestion des terres est donc un bon indicateur environnemental.

Les stocks des éléments dans les sols et particuliers ceux du carbone sont en constante évolution sous l'effet de facteurs naturels et anthropiques. Certaines pratiques ont un effet direct sur la réduction de l'érosion des sols et l'accroissement des stocks de matière organique. Parmi elles, l'agroforesterie est une pratique prépondérante qui, en plus de favoriser le stockage du carbone, permet la protection des sols, l'intensification de la production et la diversification des revenus à moyen et long terme.

Pour mesurer l'impact de la diffusion des pratiques agroécologiques sur la séquestration de carbone dans les sols, il est nécessaire de réaliser une étude spécifique basée notamment sur un certain nombre de prélèvements d'échantillons de sols afin d'estimer l'effet de certains changements de pratiques agricoles sur les stocks de carbone dans le sol. Cet indicateur évoluant peu au cours du temps, l'approche scientifique adoptée est une approche synchronique. Cette approche consiste à multiplier le nombre de mesure au cours d'une même période sur des parcelles présentant des situations différentes (topographie, système de culture, niveau de pente...).

L'objectif de cette étude est double **(1) caractériser un état environnemental en fournissant des valeurs de référence du stock de carbone du sol à un moment donné et (2) détecter et quantifier les effets des changements des pratiques agricoles induit par les appuis du projet sur les stocks de carbone dans le sol** (comparaison des systèmes de culture traditionnels et des systèmes améliorés).

Cette étude a été réalisée au deuxième semestre 2015 par Allen Joseph, étudiant à la faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire (FAMV) de l'Université d'Etat d'Haïti, appuyé par l'équipe d'Agrisud et d'Etc Terra. Les méthodologies, les principaux résultats et conclusions sont présentés ici, l'ensemble de l'étude est présenté dans le mémoire de l'étudiant.

2.2. Dispositif expérimental

2.2.1. Etude de pré-échantillonnage

Au cours de l'année 2014, une pré-étude d'échantillonnage de sol a été réalisée afin de préparer la campagne d'inventaire de 2015. L'objectif de cette première étude était de mieux appréhender les travaux relatifs à l'inventaire de carbone du sol, de caractériser la variabilité spatiale des stocks de carbone dans les Unités d'Aménagement Locales (UAL) du projet selon un gradient d'altitude (sommet, pente, piémont) et enfin de comparer les analyses de sol réalisées au laboratoire de la FAMV avec celles réalisées à l'IRD de Dakar afin de déterminer des facteurs de correction entre les deux séries d'analyse. 15 échantillons ont été prélevés sur une même UAL (Peltan) selon un gradient d'altitude décroissant et analysés en double au laboratoire de la FAMV et à l'IRD de Dakar.

Les résultats ont montré une différence entre les analyses réalisées au laboratoire de la FAMV et celles réalisées à l'IRD de Dakar. La différence moyenne est de 1,42 en valeur absolue, soit une

différence de 61 % en plus pour les mesures à Dakar comparées à celle de la FAMV Haïti. Ces différences peuvent en partie s'expliquer par les méthodes utilisées pour le dosage du carbone organique. En effet, le laboratoire de la FAMV utilise la méthode par oxydation chimique (Walkley-Black) alors que le laboratoire de l'IRD utilise la méthode de combustion sèche (Appareil CHN). La méthode CHN est connue pour produire des estimations plus précises que la méthode Walkley Black car cette dernière peut impliquer une oxydation incomplète de la matière organique.

Afin de se rapprocher le plus possible des valeurs de la méthode CHN, la droite de régression linéaire a été établie (Figure 4). On obtient la tendance donnée par l'équation de la droite : $y = 1,687x + 0,734$ avec un coefficient de corrélation $R^2=0,843$.

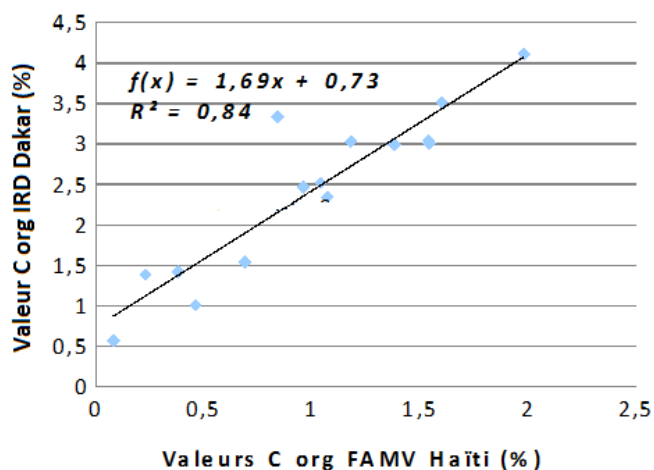


Figure 4 : Différence des valeurs de carbone organique obtenue à l'IRD à Dakar et à la FAMV à Haïti*

2.2.2. Plan d'échantillonnage

L'étude a été menée dans 5 Unités d'Aménagements Locales (Acul Jeannot, Bory, Corail, Gaya, Morne Fort) (Figure 5). Les échantillonnages pour le dosage du carbone organique ont été réalisés sur 90 placettes à raison de 3 parcelles aménagées et 3 parcelles non aménagées pour chacun des 3 systèmes de culture représentatifs des UAL (igname en agroforesterie, banane associée, manioc associé) dans les 5 UAL, sur une profondeur allant de 0 à 30 cm (3 horizons : 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) (Figure 6). Au niveau de chaque fosse pédologique, 1 prélèvement par la méthode du cylindre a été réalisé aux différentes profondeurs afin de déterminer la densité apparente du sol qui servira au calcul des stocks de carbone. L'humidité volumique de chaque horizon du sol a été mesurée à l'aide d'un humidimètre.

Pour chaque placette échantillonnée, les coordonnées, la topographie, les informations sur la pédologie, la couverture forestière, la présence d'animaux et la production de charbon ont été relevées.

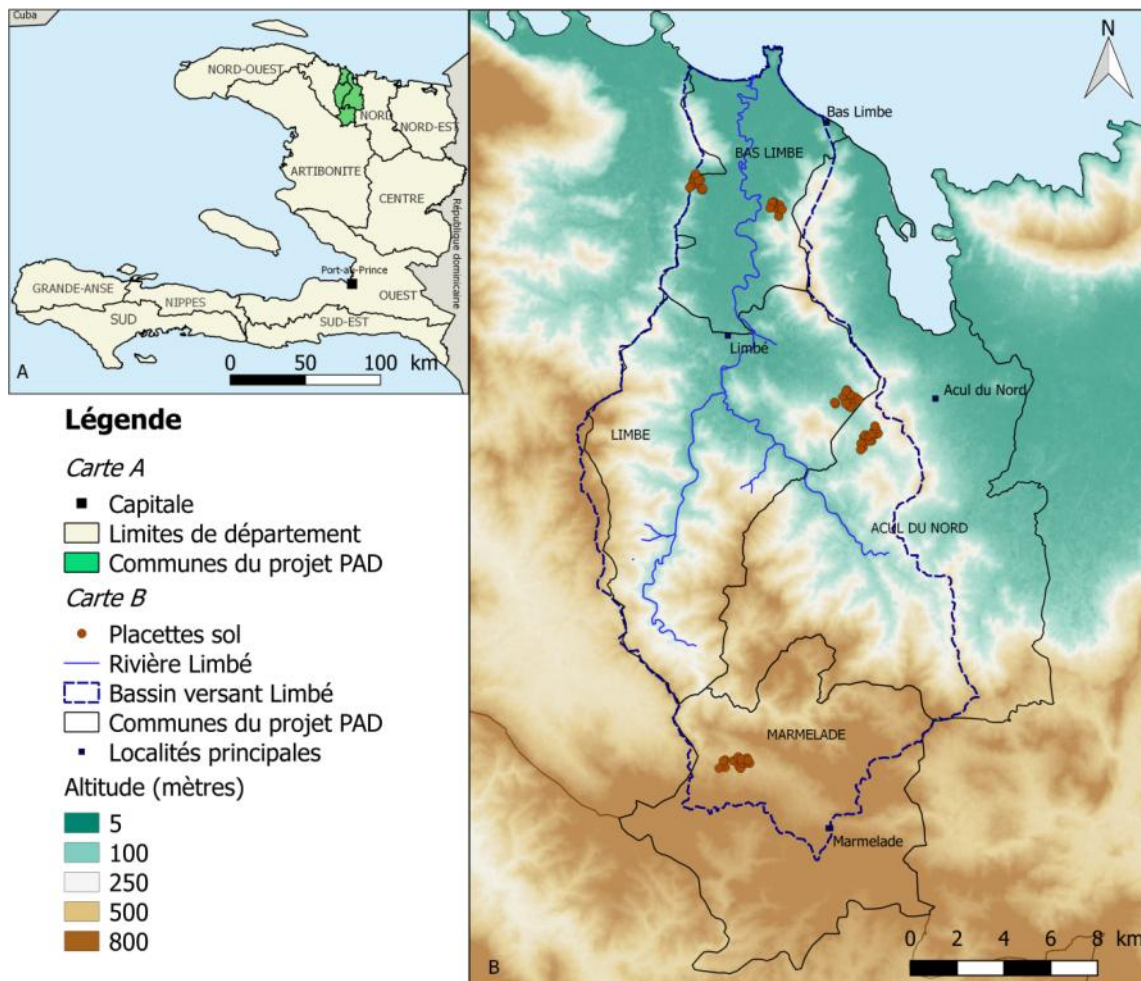


Figure 5 : Localisation des placettes d'échantillonnage de sol



Figure 6 : Sondage de sol à la tarière (gauche) et fosse pédologique (droite)

2.2.3. Analyse des échantillons de sol en laboratoire

Préparation des échantillons :

Les échantillons prélevés ont été émiettés, débarrassés des racines grossières, séchés à l'ombre pendant quelques jours, broyés puis tamisés à 2 mm. La terre qui en résulte est nommée « terre fine ». La terre fine, les graviers et les débris organiques sont ensuite pesés et le pourcentage de ces

trois fractions dans la terre totale est calculé. Le poids frais des échantillons prélevés par la méthode des cylindres a été pesé.

Détermination du carbone organique :

La teneur en carbone organique des échantillons de sol a été déterminée par la méthode d'oxydation par voie humide de Walkley-Black. Les échantillons prélevés par la méthode des cylindres ont été séchés à l'étuve à 105°C pendant 48h afin de déterminer le poids sec des échantillons.

2.2.4. Calcul du stock de carbone

La méthode employée pour calculer les stocks de carbone du sol consiste à mesurer la teneur en carbone organique total à différentes profondeurs du sol et de transformer ces données, en prenant en compte la densité apparente et la charge en éléments grossiers du sol (pierrosité), en utilisant les formules suivantes :

Calcul du pourcentage d'Humidité :

$$\% \text{ Humidité} = \text{mesure directe à l'humidimètre}$$

Calcul du poids sec Total :

$$\text{Poids sec Total} = (\text{Poids frais Total} - \text{Poids frais Total} \times \% \text{ Humidité})$$

Calcul de la densité apparente :

$$Da = \frac{\text{Poids sec Total de l'échantillon (g)}}{\text{Volume de l'échantillon à l'état humide (cm}^3\text{)}}$$

Utilisation du facteur correctif pour le calcul du carbone organique défini par l'équation de la droite $y = 1,687x + 0,734$ (cf étude de pré-échantillonnage de sol)

Stock de carbone de l'horizon de sol (kg.m⁻²) :

$$C = C_{org} \times Da \times e \times (1 - eg)$$

Avec :

- C_{org} : la teneur en carbone organique (g.kg⁻¹) ;
- Da : la densité apparente (g.cm⁻³) ;
- e : l'épaisseur de l'horizon de sol (en dm).
- eg : éléments grossiers supérieurs à 2 mm (en %)

Stock de carbone du profil 0-30 cm (kg.m⁻²)

$$C_{total} = \text{Somme } C \text{ des différents horizons}$$

2.2.5. Analyse des données

Influence des différents facteurs :

L'effet des différents facteurs sur les stocks de carbone ont été statistiquement testés en utilisant des modèles linéaires. Les niveaux de probabilité statistique sont indiqués avec la convention de notation suivante : * p (H0) < 0,05 ; ** p (H0) < 0,01 ; *** p (H0) < 0,001.

Comparaison des stocks de carbone :

Les stocks de carbone en fonction du système de culture, de la pente, de la position sur le versant et des UAL ont été comparés en utilisant une analyse factorielle de variance (ANOVA), suivie par le test de Tukey. L'ANOVA est un test statistique qui permet de comparer les moyennes de plusieurs groupes. Le test HSD de Tukey fait suite à une ANOVA, il compare les groupes deux à deux et permet de savoir quelles sont les paires pour lesquelles les différences sont significatives.

2.3. Résultats principaux

Pour l'ensemble des 90 placettes échantillonnées dans les 5 UAL, la gamme des stocks de carbone organique du sol s'étend de 44.55 t C/ha à 117.68 t C/ha avec une moyenne de 79.30 t C/ha et un écart type de 16.89 t C/ha. Il y a donc une grande variabilité de ces stocks.

2.3.1. Influence des différents facteurs :

L'effet d'un ensemble de facteurs - pente, position sur le versant, type de sol, système de culture, réalisation d'aménagement agrécologiques, densité d'arbre, présence d'animaux, production de charbon - sur le stock de carbone organique du sol a été testés statistiquement avec un modèle linéaire.

Les résultats de l'analyse présentés dans le Tableau 3, révèlent que l'ensemble des facteurs influencent significativement le stock de carbone organique du sol sauf la présence d'animaux et la réalisation d'aménagement agroécologiques qui semble trop récente (2013) pour voir encore les effets.

Tableau 3 : Influence des différents facteurs

Facteurs	F-value	p-value
Pente	24.739	<.0001***
Position sur le versant	9.309	0.0031*
Système de culture	15.548	<.0001***
Altitude	5.508	0.0214*
Type de sol	17.363	<.0001***
Présence d'animaux	0.343	0.5600
Densité des arbres	21.758	<.0001***
Production de charbon	8.108	0.0056**
Aménagement agroécologiques	1.662	0.2011
(Intercept)	5826.930	<.0001**

2.3.2. Stock de carbone en fonction du système de culture :

Systèmes de culture : Dans l'ensemble des UAL, le système igname présente un stock moyen de carbone organique du sol significativement plus élevé que les stocks moyens de carbone des deux autres systèmes (banane et manioc) (Figure 7). Le système manioc présente quant à lui le stock de carbone le plus faible. Dans la zone d'étude, les ignames sont le plus souvent cultivées en agroforesterie. Les stocks de carbone plus élevés dans les systèmes igname peuvent donc être expliqués par leur couverture forestière assez dense (cacaoyer, manguier, arbre à pain, etc.), qui apporte du carbone organique par la décomposition de la litière formée par les feuilles mortes.

Il est à noter que les cultures se répartissent généralement selon un gradient d'altitude. En effet, les systèmes igname et banane sont situés en zone de piémont, tandis que le système manioc associé est situé majoritairement en milieu de pente. Ces différences de stocks de carbone ne sont donc pas seulement liées au système de culture, le facteur pente peut être également un facteur significatif. Il sera étudié plus loin dans l'analyse.

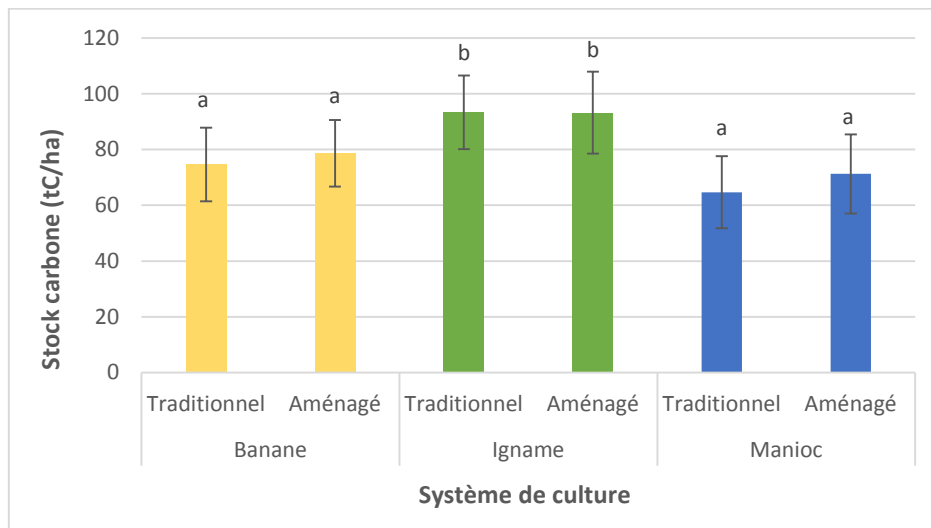


Figure 7 : Stock de carbone dans les systèmes de culture traditionnels et les systèmes améliorés. Les moyennes qui ne présentent pas le même indice (^a, ^b) sont différentes (Test de Tukey, $p(H_0) < 0,05$).

Systèmes traditionnel vs système amélioré : Pour les systèmes banane et manioc les parcelles aménagées présentent un stock de carbone organique supérieur aux parcelles non aménagées (Figure 7). Cependant, pour les 3 systèmes de culture, les différences des stocks de carbone organique entre les parcelles aménagées et non aménagées ne sont pas statistiquement significatives. L'aménagement a été réalisé en 2013 et les inventaires réalisés en 2015, ce temps semble trop court pour observer l'effet des pratiques agroécologiques sur les stocks de carbone dans le sol.

2.3.3. Stock de carbone et position sur le versant :

L'analyse des stocks de carbone en fonction de la position sur le versant (piémont ou pente) révèle que les placettes situées en zone de piémont sont caractérisées par un stock de carbone organique du sol plus élevé (84.79 ± 15.6 tC/ha) que celle située en zone de pente (68.86 ± 14.4 tC/ha) (Figure 8). Ces observations, entre autres liées à l'érosion, permettent d'expliquer également les stocks de carbone plus élevés présents dans les systèmes igname et banane. L'érosion des sols est en partie liée au niveau de pente ce facteur semble donc influencer les stocks de carbone, son analyse est présentée à la suite.

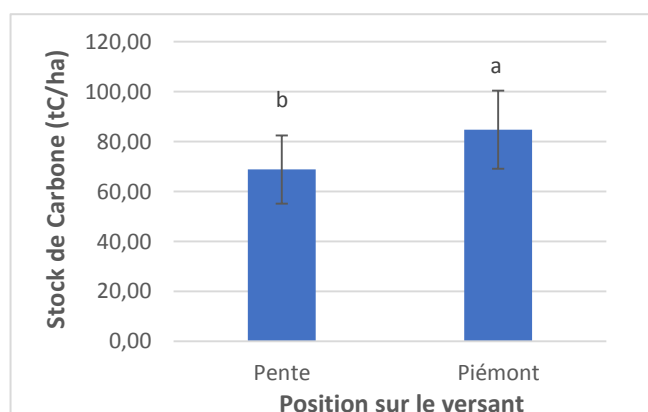


Figure 8 : Stock de carbone en fonction de la position sur le versant

2.3.4. Stock de carbone et pente :

L'analyse des stocks de carbone en fonction de la pente ont montré que les sols des parcelles ayant une pente moyenne <20% présentent les stocks moyens de carbone les plus élevés (86.73 ± 16.1 tC/ha) tandis que les sols des parcelles ayant une pente moyenne >50% présentent les stocks moyens de carbone les plus faibles (66.10 ± 14.4 tC/ha) (Figure 9). Celles dont la pente est comprise entre 20 et 50% présentent des valeurs moyennes intermédiaires (80.04 ± 13.5 tC/ha). Donc, en plus de l'effet des systèmes de culture sur l'enrichissement du sol en carbone, l'évolution des stocks est aussi étroitement liée au niveau de pente du système échantillonné (exposition à l'érosion, stabilité de l'humus, etc).

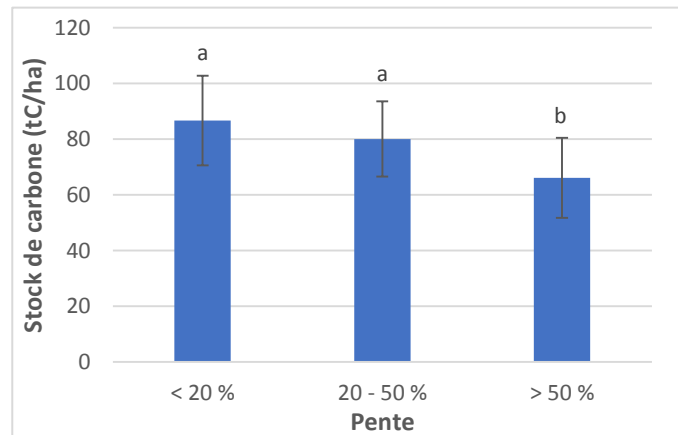


Figure 9 : Stocks de carbone en fonction de la pente.

2.3.5. Stock de carbone et autres facteurs

Les stocks de carbone varient en fonction du type de sol, de la densité des arbres et de la présence de production de charbon sur la parcelle (Figure 10 et Figure 11). Pour le facteur sol, on observe des valeurs significativement plus faibles en termes de stock de carbone dans les lithosols.

Les parcelles ayant une densité d'arbre faible présentent un stock de carbone significativement plus faible que les parcelles présentant une densité d'arbre forte ou moyenne. De plus, les résultats montrent que la production de charbon sur la parcelle influence positivement les stocks de carbone.

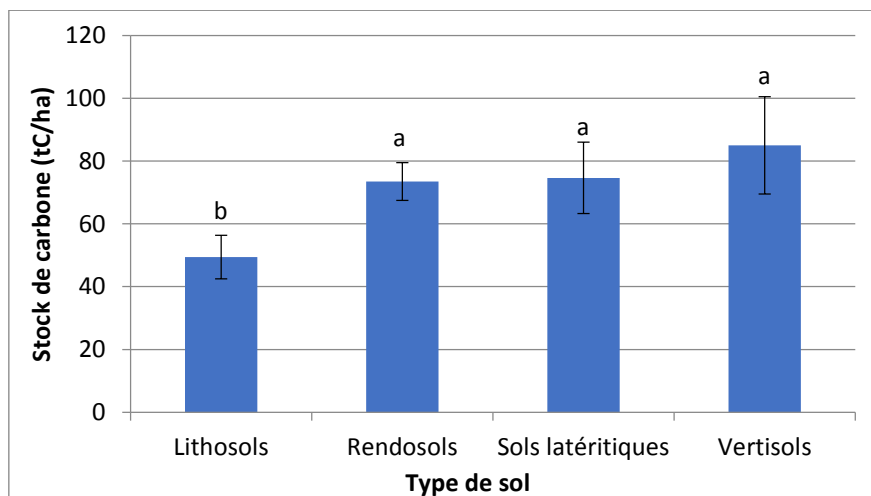


Figure 10 : Stock de carbone en fonction du type de sol

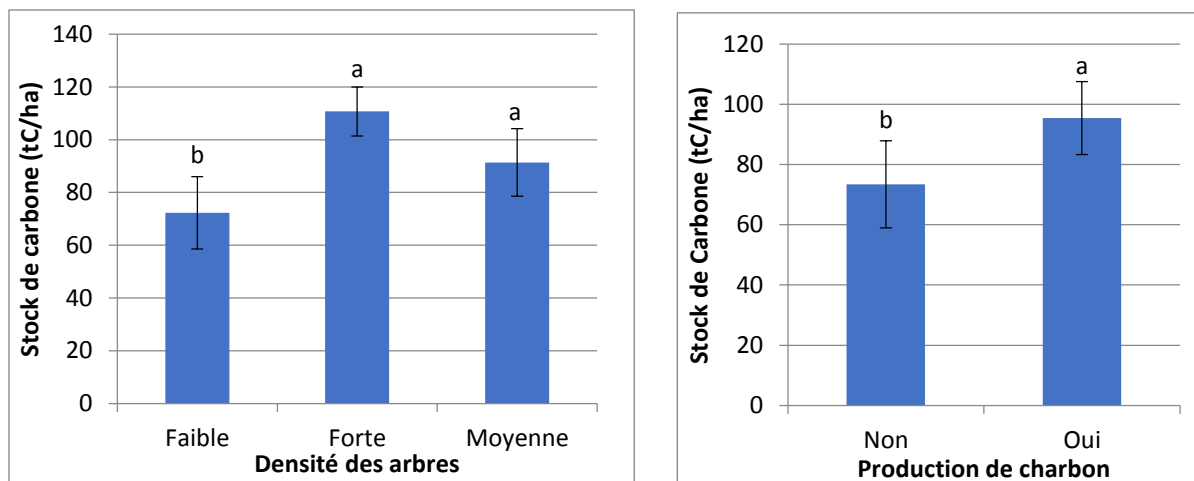


Figure 11 : Stock de carbone en fonction de la densité d'arbre et de la présence de production de charbon sur la parcelle.

2.3.6. Stock de carbone par UAL :

En comparant les stocks moyens de carbone organique en fonction des différents UAL, on observe des hétérogénéités mais qui ne sont pas significatives statistiquement sauf pour l'UAL Gaya qui présente un stock de carbone bien plus faible que les autres UAL (Figure 12). L'UAL Corail est celui qui présente le stock de carbone moyen le plus élevé (91.43 ±16.2 tC/ha) et l'UAL Gaya le plus faible (63.66.43 ±15.3 tC/ha), ce qui peut être dû à une plus forte érosion de la zone. Les UAL Acul Jeannot, Bory et Morne Fort ont des valeurs de stocks de carbone intermédiaire.

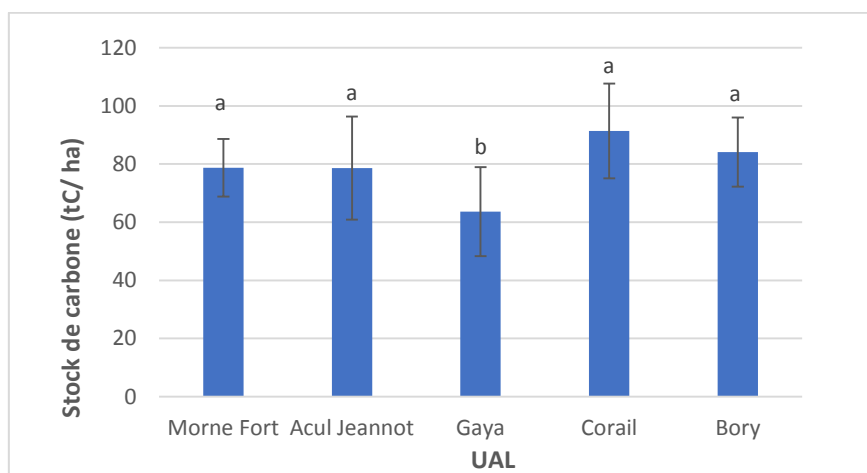


Figure 12 : Stock de carbone en tC/ha par UAL

2.4. Conclusion de l'étude

L'étude de sol a permis de fournir un état de référence du stock de carbone organique du sol pour les différents systèmes de culture étudiés dans les 5 UAL. Elle a montré qu'il existe une grande variabilité des stocks de carbone qui est fortement conditionnée par la topographie et les systèmes de culture en place. Les placettes situées sur les zones de piémont présentant de faibles pentes sont celles qui

présentent en moyenne le stock de carbone le plus élevé. De même, le système igname en agroforesterie semble favoriser le stockage de carbone.

Pour le moment, les effets de la mise en place de pratiques agroécologiques ne sont pas encore visibles sur les stocks de carbone, car leur mise en place est récente et la séquestration de carbone est un phénomène assez long. Cependant, peut supposer que la répétition de ces échantillonnages dans plusieurs années sur les placettes aménagées puisse montrer une augmentation du stock de carbone.

3. Séquestration du carbone dans la biomasse

3.1. Objectifs de l'étude

Les arbres absorbent le CO₂ présent dans l'atmosphère par photosynthèse. Le carbone est stocké dans le feuillage, les tiges, les systèmes racinaires et, surtout, dans le tissu ligneux des tiges principales des arbres. En raison de la longue durée de vie de la plupart des arbres et de leurs dimensions relativement importantes, les arbres sont de véritables réserves de carbone.

Tous les arbres ne séquestrent pas le carbone de la même manière. Ainsi, il était important d'effectuer des mesures dendrométriques permettant d'estimer la biomasse des arbres. Par la suite, l'évaluation de la biomasse ligneuse à l'aide d'équation allométrique permet d'estimer des coefficients de séquestration de carbone liés aux espèces ligneuses

Cette étude fait partie d'une recherche portant sur l'évaluation de l'empreinte carbone de différentes exploitations agricoles dans le bassin versant de Limbé, présentée à la suite du document dans la partie « 7. Empreinte carbone des exploitations agricoles ». Dans laquelle, il s'avérait nécessaire d'inventorier les espèces ligneuses car elles constituent un important poste de séquestration de carbone et donc elles peuvent impacter le bilan carbone des exploitations agricoles.

L'objectif de cette étude est **d'estimer les coefficients de séquestration de carbone des espèces ligneuses les plus répandues sur les parcelles des exploitations agricoles en fonction de la densité du bois et de l'âge de ces arbres.**

Cette étude a été réalisée au deuxième semestre 2015 par Louis Juste Charles, étudiant à la faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire (FAMV) de l'Université d'Etat d'Haïti, appuyé par l'équipe d'Agrisud et d'Etc Terra.

3.2. Dispositif expérimental

3.2.1. Inventaires des espèces ligneuses

Un inventaire de toutes les espèces ligneuses suivant trois classes d'âge (moins de 5 ans ; entre 5 et 10 ans ; plus de 10 ans) a été effectué sur les parcelles de chaque exploitation agricole sélectionnées. Cette classification résulte du fait que la séquestration de carbone par les arbres varie avec l'âge. L'âge de chaque espèce ligneuse a été obtenu à partir des estimations du chef de chacune des exploitations agricoles enquêtées. Au total, 30 exploitations agricoles ont été enquêtées.

3.2.2. Mesures dendrométriques

Dans le cadre de cette étude, il était souhaité d'effectuer des mesures dendrométriques (diamètre et hauteur) sur toutes ces espèces ligneuses. Compte tenu de la rareté de certaines espèces, il a été décidé de réaliser les différents relevés dendrométriques sur les 9 espèces les plus dominantes et les plus distribuées par le projet PAD Nord.

La mesure du Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) (soit à 1.30 m du sol) a été faite pour les neuf espèces ligneuses, avec un ruban de diamètre (Figure 13). De plus, avec le dendromètre Haglöf Sweden, la mesure de la hauteur totale (partant de la souche jusqu'au bourgeon terminal de la tige)

de ces arbres a été réalisée. Suivant l'emplacement ou la forme de l'arbre, différentes techniques de mesure ont été appliquées pour la mesure du DHP et de la hauteur de ces arbres.



Figure 13 : Mesure du diamètre des arbres à hauteur de poitrine (gauche), mesure de la hauteur des arbres avec un dendromètre (droite).

3.2.3. Détermination des coefficients de séquestration de carbone

La biomasse aérienne et souterraine d'un arbre est estimée en utilisant des équations allométriques à partir de caractéristiques dendrométriques faciles à mesurer (hauteur de l'arbre, diamètre à hauteur de poitrine, densité du bois, ...).

Biomasse aérienne

Afin de déterminer la biomasse aérienne des espèces ligneuses, l'équation de Chave et al. 2005, pour les forêts humides, a été utilisée. Elle intègre la densité du bois (ρ), le diamètre à hauteur de poitrine (D), la hauteur des arbres (H) et s'énonce comme suit :

$$\text{Biomasse aérienne} = (-2.977 + \ln(\rho(D \cdot D) H)) = 0.0509 * \rho D^2 H.$$

Pour ce faire, on a inséré les informations sur la densité du bois (donnée issue du document de la FAO, 2014), le diamètre et la hauteur dans l'équation afin de déterminer la biomasse aérienne pour chaque individu mesuré.

Par la suite, on a déduit le carbone aérien de chaque individu en multipliant la quantité de biomasse aérienne par 0.5, car il est estimé que carbone aérien représente 50% de la biomasse aérienne (Brown, 2002).

Biomasse souterraine

L'arbre séquestre aussi du carbone au niveau de ses racines (carbone souterrain). On a déduit le carbone souterrain à partir du rapport « bois-racine » du GIEC :

$$\text{Carbone souterrain} = \text{carbone aérien} * 0.2$$

Croisement des classes d'âge avec celles de densité

Outre l'âge, la séquestration de carbone varie avec la densité du bois des arbres. Les espèces ligneuses mesurées ont donc été séparées en deux classes de densité (inférieure ou supérieure à 0.5 g/cm³).

En croisant les 3 classes d'âge avec les 2 classes de densité, on obtient les 6 groupes suivants :

- A. Densité inférieure à 0.5 g/ cm³
 - 1) Densité inférieure à 0.5 g/ cm³ et moins de 5 ans ;
 - 2) Densité inférieure à 0.5 g/ cm³ et entre 5 et 10 ans ;
 - 3) Densité inférieure à 0.5 g/ cm³ et plus de 10 ans ;
- B. Densité supérieure à 0.5 g/cm³
 - 4) Densité supérieure à 0.5 g/ cm³ et moins de 5 ans ;
 - 5) Densité supérieure à 0.5 g/ cm³ et entre 5 et 10 ans ;
 - 6) Densité supérieure à 0.5 g/ cm³ et plus de 10 ans.

La moyenne du carbone de chaque individu mesuré a été calculée au sein de ces six groupes et est par la suite considérée comme le coefficient de séquestration de carbone pour le groupe en question.

3.3. Résultats principaux

3.3.1. Inventaires exhaustives des espèces ligneuses

En vue de déterminer le capital en bois de chacune des exploitations agricoles enquêtées, l'inventaire de toutes les espèces ligneuses qui se trouvent sur les parcelles a été réalisé. Dans les trente exploitations agricoles enquêtées 26 espèces ligneuses différentes ont été recensées, elles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Espèces ligneuses inventoriées dans les 30 exploitations agricoles.

N°	Nom scientifique	Nom vernaculaire
1	<i>Cedrela odorata L.</i>	Cèdre
2	<i>Anacardium occidentale L.</i>	Noix de cajou
3	<i>Theobroma cacao L.</i>	Cacaoyer
4	<i>Catalpa longissima (Jacqu.)</i>	Chêne
5	<i>Swietenia mahogany L.</i>	Acajou
6	<i>Simaruba glauca DC sin. Quassia simarouba</i>	Frêne
7	<i>Citrus aurantium L.</i>	Oranger
8	<i>Persea americana Mill.</i>	Avocatier
9	<i>Mangifera indica L.</i>	Manguier
10	<i>Cassia siamea</i>	Cassia

11	<i>Terminalia catappa</i> L.	Amandier
12	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosb	Arbre véritable, Abre à pain
13	<i>Moringa oleifera</i>	Benzolive
14	<i>Guarea perrottetiana</i> A. Juss.	Bois rouge
15	<i>Annona cherimola</i> Mill.	Cachiman
16	<i>Crescentia cujete</i> L.	Calebassier
17	<i>Citrus grandis</i> Hassk.	Chadéquier
18	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss.	Chevalier de nuit
19	<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle	Citronnier
20	<i>Annona muricata</i> L.	Corossolier
21	<i>Gmelina arborea</i>	Gméline
22	<i>Melicocca bijuga</i> L.	Kénépier
23	<i>Spondias mombin</i> L.	Mombin, Mombin batard
24	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Saman
25	<i>Inga vera</i>	Sucrin (poix doux)
26	<i>Cécropia peltata</i> Vell.	Trompette

3.3.2. Mesures dendrométriques effectuées

La liste des 9 espèces et le nombre d'individus pour chaque espèce sur lesquelles les mesures dendrométriques ont été effectuées par classe d'âge sont présentés dans le Tableau 5. Les mesures dendrométriques ont été effectuées sur 779 individus au total, à raison de 90 individus par espèce (30 pour chaque classe d'âge), sauf pour le cèdre (*Cedrela odorata* L.) où les mesures ont été effectuées sur 59 individus. Cette espèce est fortement distribuée par le projet PAD Nord mais les individus de classes entre 5 et 10 ans et plus de 10 ans sont rares.

Tableau 5 : Espèces sélectionnées et nombre d'individus mesurés par espèces

Espèces ligneuses		Classe d'âge			Total
Nom vernaculaire	Nom scientifique	< à 5 ans	entre 5 et 9 ans	≥ 10 ans	
Cèdre	<i>Cedrela odorata</i> L.	30	22	7	59
Noix de cajou	<i>Anacardium occidentale</i> L.	30	30	30	90
Cacaoyer	<i>Theobroma cacao</i> L.	30	30	30	90
Chêne	<i>Catalpa longissima</i> (Jacqu.)	30	30	30	90
Acajou	<i>Swietenia mahagany</i> L.	30	30	30	90
Frêne (bois blanc)	<i>Simaruba glauca</i> DC	30	30	30	90
Oranger	<i>Citrus aurantium</i> L.	30	30	30	90
Avocatier	<i>Persea americana</i> Mill.	30	30	30	90
Manguier	<i>Mangifera indica</i> L.	30	30	30	90
Total		270	262	247	779

3.3.3. Croissance des arbres

La croissance des arbres dépend de nombreux facteurs comme les conditions climatiques, édaphiques, topographiques, d'ensoleillement, la présence de compétition entre les individus... L'arbre est aussi soumis à des facteurs à impact plus occasionnel, tel que les animaux, les ravageurs, les activités humaines. Un facteur important également est le potentiel génétique lié à l'espèce, certaines espèces sont dites à « croissance rapide » et d'autre à « croissance lente ».

Les mesures dendrométriques effectuées sur les 779 individus ont permis d'établir des courbes de croissances par espèces sur 30 ans (Figure 14). Les résultats montrent une grande variabilité des dynamiques de croissance des différentes espèces. Des croissances rapides sont observées pour le Cèdre (*Cedrela odorata* L.) et le chêne (*Catalpa longissima*) et des croissances plus lentes pour le Cacaoyer (*Theobroma cacao*) et l'Acajou (*Swietenia mahogany*). Les dynamiques de séquestration du carbone sont liées à la croissance des arbres donc le cèdre et le chêne vont séquestrer du carbone plus rapidement que les autres espèces.

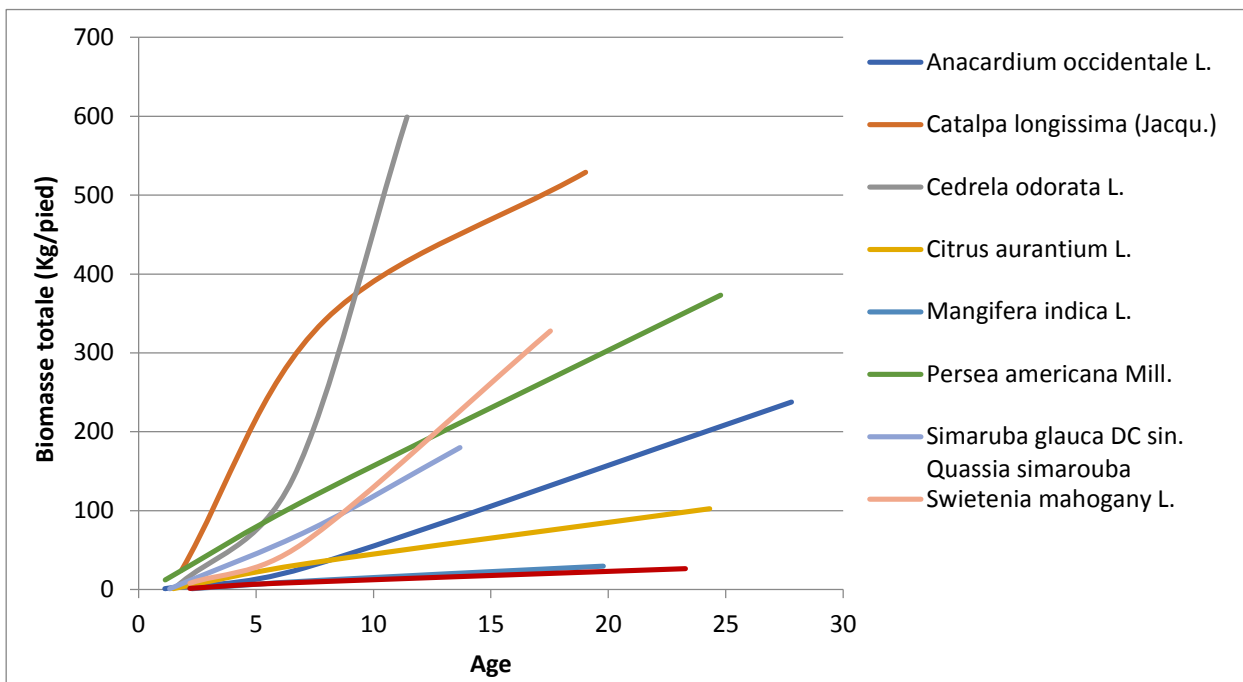


Figure 14 : Courbe de croissance des 9 espèces ligneuses dominantes

3.3.4. Coefficients de séquestration

Le carbone séquestré par une espèce ligneuse est estimé à partir du calcul de la biomasse aérienne et de la biomasse souterraine. La capacité à séquestrer du carbone d'une espèce varie avec l'âge et la densité du bois de l'espèce en question (Tableau 6 et Figure 15).

Les résultats montrent que la capacité à séquestrer du carbone augmente avec l'âge de l'arbre et cette augmentation est, en moyenne, élevée dans les premières années et ralentit par la suite. En effet, les coefficients de séquestration de la classe d'âge inférieure à 5 ans sont significativement différents de ceux des deux autres classes d'âge qui ne présentent pas de différences significatives entre elles.

On observe également que la capacité à séquestrer du carbone est plus élevée pour les arbres présentant une densité supérieure à 0,5 g. cm³. Pour les classes d'âge 5-10 ans et > 10 ans, les coefficients de séquestration de carbone sont significativement différents entre les deux classes de densité. Cette différence n'est pas visible dans les premiers stades de croissance (inférieur à 5 ans).

Tableau 6 : Coefficients de séquestration de carbone (kg C/an)

Densité	Coefficients de séquestration de carbone (kg C/an)		
	Biomasse aérienne	Biomasse souterraine	Total
	Moins de 5 ans		
Inférieur à 0,5 g.cm-3	0.32	0.06	0.38 (±0.7) ^d
Supérieur à 0,5 g.cm-3	1.62	0.32	1.95 (± 3.3) ^d
	Entre 5 et 10 ans		
Inférieur à 0,5 g.cm-3	4.03	0.81	4.84 (± 7.2) ^c
Supérieur à 0,5 g.cm-3	6.52	1.30	7.83 (± 10.2) ^{ab}
	Plus de 10 ans		
Inférieur à 0,5 g.cm-3	4.84	0.96	5.81 (± 6.1) ^{bc}
Supérieur à 0,5 g.cm-3	7.89	1.58	9.47 (± 11.2) ^a

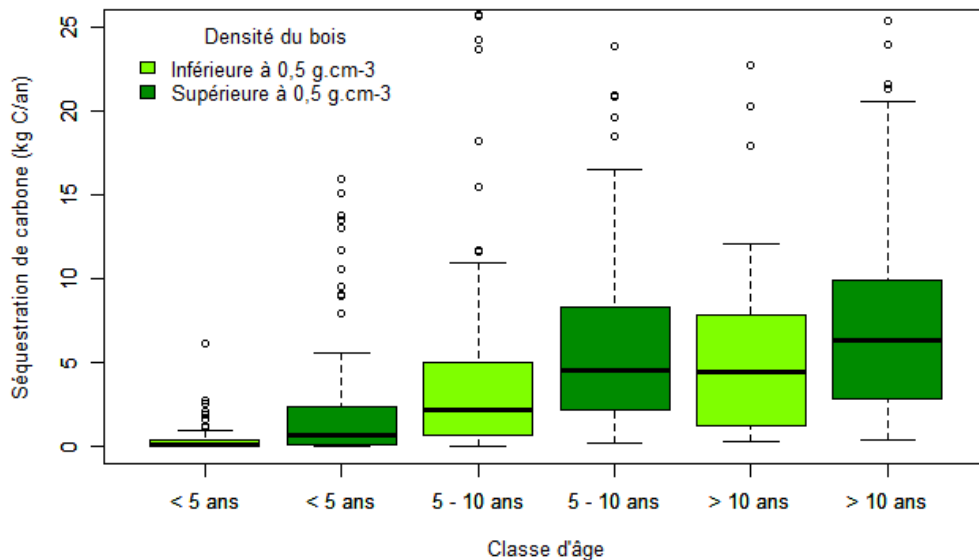


Figure 15 : Coefficient de séquestration de carbone en fonction de l'âge de l'arbre et de la densité du bois

3.4. Conclusion de l'étude

Cette étude a permis de lister l'ensemble des espèces ligneuses présentes sur les exploitations agricoles, de déterminer qu'elles sont les espèces dominantes et d'établir des courbes de croissance pour ces espèces. Elle a également permis d'estimer les coefficients de séquestration de carbone des espèces ligneuses les plus répandues sur les parcelles des exploitations agricoles en fonction de la densité du bois et de l'âge des arbres.

Les résultats ont montré que les dynamiques de séquestration du carbone étaient liées aux caractéristiques propres à l'espèce, à l'âge de l'arbre et à la densité du bois. De plus, la capacité de séquestration augmente avec l'âge de l'arbre surtout dans les premières années pour les espèces à croissance rapide et est plus forte pour les espèces présentant une densité du bois supérieure à 0,5 g.cm³.

4. Suivi de la ressource en eau

4.1. Objectifs de l'étude

En amont du projet, plusieurs constats ont été établis : l'adduction en eau potable par le captage actuel est délabré et ne fournit pas de l'eau toute l'année. Les systèmes de culture sur pente sont peu productifs du fait de l'érosion de la couche arable et la culture de contre saison est limitée, car l'eau n'est ni stockée ni utilisée pour l'agriculture.

Pour pallier à ces problèmes, au cours du projet, plusieurs aménagements tels que le renforcement du captage existant, la création d'un autre captage, la création d'une rampe antiérosive, la plantation d'arbres doivent être mis en place et pourront conduire à la réduction de l'érosion, l'amélioration de l'infiltration de l'eau, une adduction en eau pour l'irrigation des parcelles et en eau potable soutenue toute l'année pour le village.

Etant donné qu'il existe peu de données quantifiées sur l'impact de conversion d'usage des terres sur la ressource en eau (pluviométrie, débit, réserve utile, etc.) dans le pays, l'étude de l'impact du projet sur la ressource en eau par la mise en place d'un dispositif de mesure et de suivi s'est avérée importante.

L'objectif de l'étude était **d'étudier l'effet d'aménagements agricoles durables (changement de pratiques, adduction en eau potable, amélioration culturale) sur la ressource en eau et ainsi de démontrer que les aménagements agroécologiques mis en œuvre par les producteurs permettent d'améliorer l'infiltration de l'eau sur le versant et d'augmenter la ressource en eau disponible à l'aval.**

4.2. Dispositif expérimental

4.2.1. Approche générale

La méthodologie générale adoptée est la suivante :

- Etape 1 : Identification du site, enjeux, aménagements du projet et résultats attendus ;
- Etape 2 : Caractérisation du fonctionnement hydrologique ;
- Etape 3 : Définition du dispositif de mesure ;
- Etape 4 : Instrumentation du bassin versant (BV) et mise en place du système de suivi ;
- Etape 5 : Inventaire et collecte des données ;
- Etape 6 : Dépouillement et analyse de données ;
- Etape 7 : Production des résultats de l'étude.

Les mesures et les études réalisées sont les suivantes :

- 1) Mesure des pluies tout au long de l'année et du projet
 - Mesure du débit aux sources en continue
 - Mesure du niveau de la nappe (proche rivière ou aval du BV)
- 2) Étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant
 - Régime des précipitations (répartition des pluies, cumul, intensité)
 - Régime de débits (débit d'étiage, débit maximum), lien en pluie et débits
 - Régime de la nappe, lien entre pluviométrie et hauteur piézométrique
- 3) Détection des effets des aménagements sur le régime hydrologique avant-projet

- Effet des aménagements sur le débit à l'exutoire
- Effet sur l'augmentation des débits d'étiage
- Effet des aménagements sur la piézométrie aval

4.2.2. Mesure de la pluviométrie

Mesure des pluies tout au long du projet (démarrage du suivi hydro en mai 2014) grâce au dispositif suivant :

- 1 pluviomètre à lecture directe installé sur la parcelle de démonstration de l'UAL
- 1 pluviomètre à lecture directe installé en amont du captage d'eau
- 1 pluviomètre automatique installé au même endroit que le second (amont du captage)

Objectifs

- Plusieurs points de relevés car il existe une forte variabilité locale des pluies
- Tester la fiabilité des relevés manuels par rapport au pluviomètre automatique à auget (et inversement)
- Sensibiliser la communauté a la préservation des ressources en eau via l'installation d'un dispositif de suivi

Mode opératoire

Les relevés manuels sont réalisés par une personne formée préalablement à la mesure de la pluviométrie. Une fiche de relevés pluviométriques est complétée pour chacun des pluviomètres, elle est organisée de la manière suivante :

Date	Heure	Quantité de pluie (en mm)	Intensité de la pluie (faible, moyenne, forte)	Durée approximative (en minutes)	Remarques complémentaires (vent, événements notables...)

Les données du pluviomètre automatique sont également relevées à intervalles réguliers, idéalement 1 fois par mois (Figure 16).



Figure 16: Installation du pluviomètre automatique (gauche) et relevé des données régulièrement (droite)

4.2.3. Mesure du débit de la source

Outil et méthode

- Pour un faible débit (de 0 à 1 litre par seconde) on peut utiliser la méthode au seau + chronomètre.

- Pour des débits plus élevés, sur une rivière ou ravine tortueuse, on peut utiliser la méthode au traçage au sel. La méthode s'appuie sur l'hypothèse que la masse d'un traceur (sel de cuisine par ex.) est conservé entre un point A en amont et un point B en aval (10-20mètres environ) ce qui permet d'estimer simplement le débit à partir de la conductivité (concentration en sel) et le temps de déplacement du pic de sel. Elle nécessite quelques grammes de sel, un chronomètre et un conductimètre. Un traitement des données brutes est nécessaire sur ordinateur pour calculer le débit.



Figure 17 : Mesure du débit par la méthode de traçage

Ces deux méthodes permettent des mesures simples mais demandent de la main d'œuvre et du matériel ce qui peut être difficile à mettre en place quotidiennement.

- Pour des mesures régulières : méthode avec déversoir

Un déversoir est constitué d'un bac de rétention qui capte toute l'eau du cours d'eau ou de la source. Une plaque en acier ou tôle avec un « V » », précisément découpé, est posé à la sortie du bac. En considérant que l'eau coule sans remous (écoulement laminaire), les lois hydrauliques permettent de considérer que la hauteur d'eau dépend du débit. Un étalonnage entre hauteur d'eau et le débit est nécessaire au préalable. La mesure du débit se fait *in fine* simplement à partir de la hauteur d'eau sur l'échelle graduée (limnimétrique) placée dans le bac.



Figure 18 : Mesure de débit avant travaux (gauche) et mesure du débit à l'entrée du bassin de stockage (droite).

4.2.4. Mesure de la piézométrie

Le suivi du niveau de la nappe souterraine s'effectue au moyen de piézomètres : ce sont des points d'accès à la nappe (puits, forages) dans lesquels on mesure le niveau de l'eau. En fonction de la profondeur du puit, on peut utiliser soit un décimètre avec un lesté au bout, soit un baton gradué. Les mesures sont effectuées de façon hebdomadaire ou éventuellement mensuelle. La mesure de la piézométrie proche de l'exutoire est réalisée grâce à un sondage à la tarière (1 m) pour évaluer la dynamique de la nappe sans prélèvement AEP (cas du puits de la cassaverie).

4.2.1. Choix de l'UAL

Le site d'étude pour l'analyse de l'impact des aménagements sur la ressource en eau est situé dans l'UAL Peltan. En effet, le bassin-versant choisi est bien délimité, il présente deux sources facilement accessibles. Les mesures sont facilement réalisables sur 1 source captée. Le relief très encaissé permet d'espérer un bon impact des aménagements agroenvironnementaux. Le dispositif de mesure mis en place pour l'analyse du bilan hydrologique est présenté dans la figure suivante :



Figure 19 : Dispositif de mesure du bilan hydrologique de la source Peltan.

4.3. Résultats principaux

4.3.1. Températures

Le pluviomètre automatique a enregistré une température moyenne de 28,86 °C sur l'ensemble de la période de relevés qui s'étend de octobre 2014 à novembre 2016. Les températures moyennes annuelles enregistrées sont de 28,71 °C en 2015 et 29,63 °C 2016. Les températures moyennes mensuelles sont présentées dans la figure 20. En 2015 (année où le relevé est le plus complet), le mois de janvier était le plus froid avec une température moyenne de 25,9 °C et les mois de juillet, août et septembre les plus chauds, avec une température moyenne maximale de 32,2 °C pour septembre.

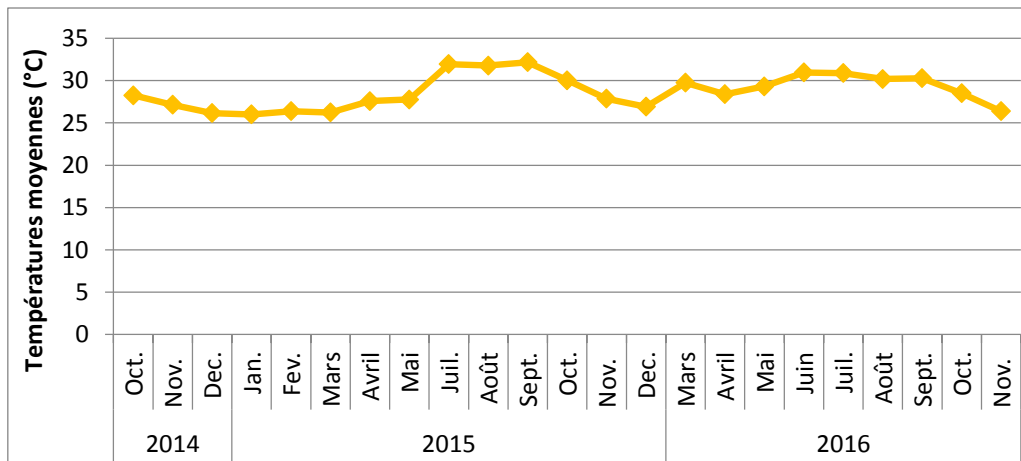


Figure 20 : Températures mensuelles moyennes

4.3.2. Mesure de la pluviométrie

Pluviomètres à lecture directe

Deux pluviomètres à lecture directe ont été installés, un sur la parcelle de démonstration de l’UAL et le deuxième en amont du captage d’eau. Les précipitations mensuelles cumulées relevées pour les deux pluviomètres sont présentées dans les 21. On observe des variabilités temporelles inter et intra-annuelles importantes des précipitations et également des petites variabilités spatiales, visibles ici entre les précipitations mesurées sur la parcelle de démonstrations et celles en amont du captage. Cependant, les précipitations mensuelles mesurées au cours de la période dans les deux sites suivent les mêmes tendances et il a été noté des problèmes de débordement du pluviomètre situé en amont du captage (pas de mesures au-dessus de 70 mm, limite du pluviomètre), ce qui pourrait nuancer les différences observées.

Les mois affichant les précipitations les plus importantes sont normalement les mois de mai et novembre selon les données historiques détaillées à la suite. En 2015, le mois de novembre était marqué par une pluviométrie très faible et on observe un décalage des pluies en février 2016. L’année 2015 est marquée par un fort déficit hydrique par rapport à 2014 et 2016.

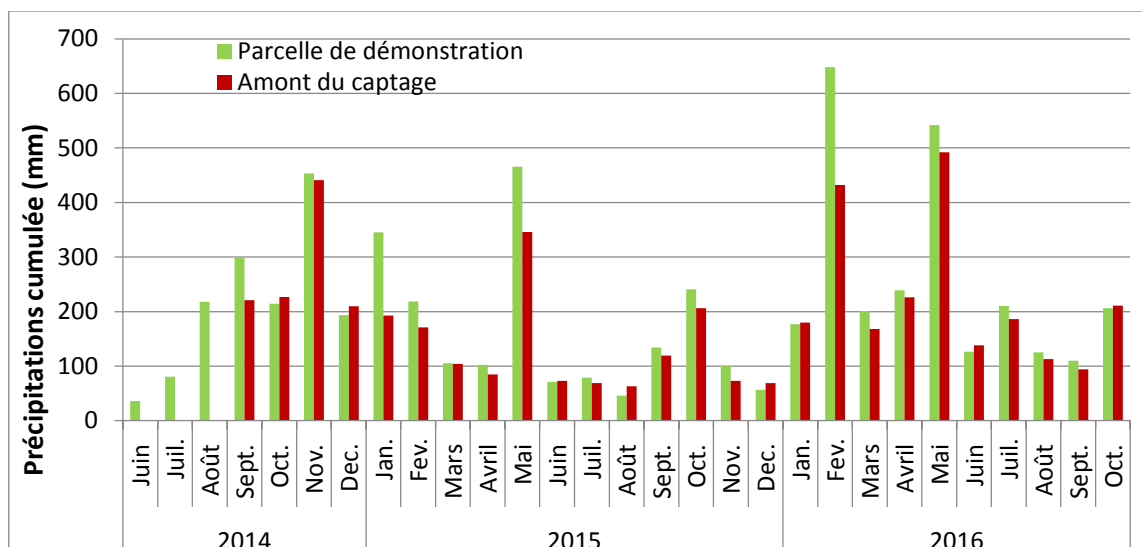


Figure 21 : Pluviométries mensuelles cumulées

Pluviomètre automatique

Le pluviomètre automatique a été installé en amont du captage comme le second pluviomètre à lecture directe. La Figure 22 permet de comparer les précipitations mensuelles cumulées obtenues avec les deux pluviomètres (automatique et manuelle). Les résultats obtenus avec les deux pluviomètres sont différents mais présents en générale plus ou moins les mêmes tendances sauf pour les mois présentant un cumul de précipitations élevé.

Le suivi du pluviomètre à lecture directe avec assiduité nous a permis d'avoir une gamme de mesure continue alors que les mesures obtenues avec le pluviomètre automatique présentent quelques données manquantes. Le pluviomètre à lecture directe permet d'avoir des mesures précises, mais est limité par sa capacité volumique pour les fortes pluviométries. Le pluviomètre à augets n'est pas aussi précis que celui à mesure directe, car si la pluie se termine avant que l'auget ne soit plein, l'eau dans celui-ci ne sera pas comptée. L'utilisation de pluviomètre automatique demande moins d'assiduité, mais peut présenter quelques problèmes lorsqu'il est bouché, qu'il y a un défaut de nivellement, ou un mauvais réglage des augets

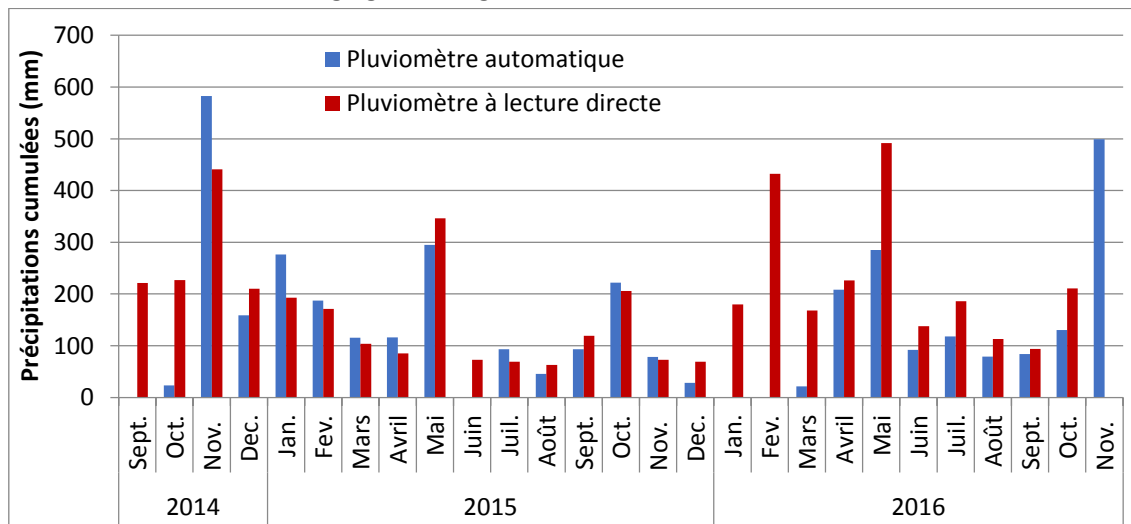


Figure 22 : Précipitations mensuelles cumulées obtenues avec les pluviomètres automatique et à lecture directe.

4.3.3. Mesure du débit à la source

Les débits aux sources Lombard et Peltan ont été mesurés par la méthode de traçage au sel.

Source Lombard : Une seule mesure du débit a été réalisée à la source Lombard en Août 2014, le débit mesuré était de 0,31 L/s soit 1125 L/h.

Source Peltan : Une à deux mesures par mois du débit à la source Peltan ont été réalisées de mars 2014 à octobre 2016. Les débits enregistrés par mois sont présentés dans la Figure 23. On observe une augmentation du débit de la source entre décembre 2014 et février 2015 qui atteint les 0,3 L/s. Par la suite, le débit diminue fortement pour retrouver son débit d'avant décembre 2014, en mars 2016 et reste relativement stable jusqu'à la fin du relevé. Si l'augmentation du débit entre octobre 2014 et février 2015 n'est pas simple à interpréter et peut résulter d'un effet de l'aménagement, la diminution par la suite peut être reliée au fort déficit hydrique de 2015. Ces relevés nous permettent d'avoir un état de référence du débit de la source en 2016 qui est de l'ordre de 0,10 à 0,16 L/s.

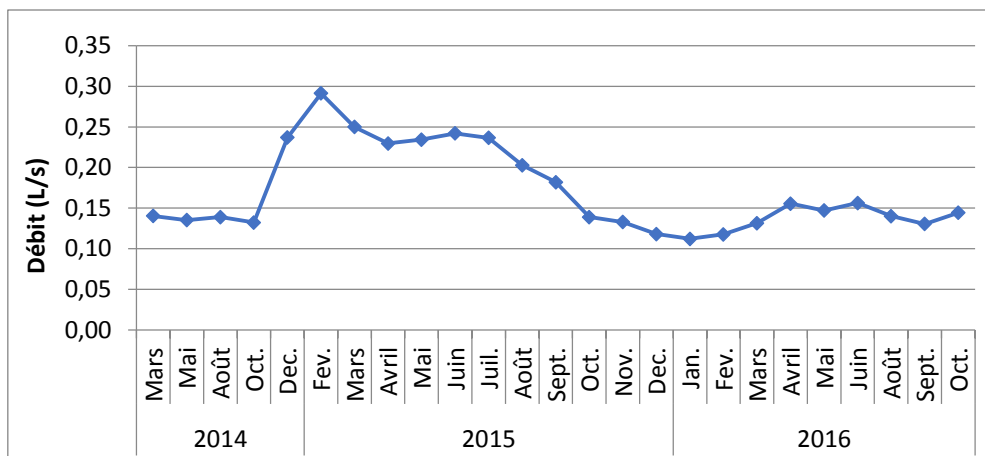


Figure 23 : Débit de la source Peltan mesuré par mois.

4.3.4. Mesure de la piézométrie

Une à deux mesures par mois de la hauteur du puits Peltan ont été réalisées de Août 2014 à octobre 2016. Les hauteurs mesurées par mois sont présentées dans la Figure 24. Au cours de la période de mesure la hauteur piézométrique varie de 107,4 m à 110,3 m soit une variation d'environ 3 m. On observe une diminution de la hauteur piézométrique d'environ 1,5 m entre septembre 2015 et la fin de la période de mesure, qui peut être due là encore au fort déficit hydrique de l'année de 2015.

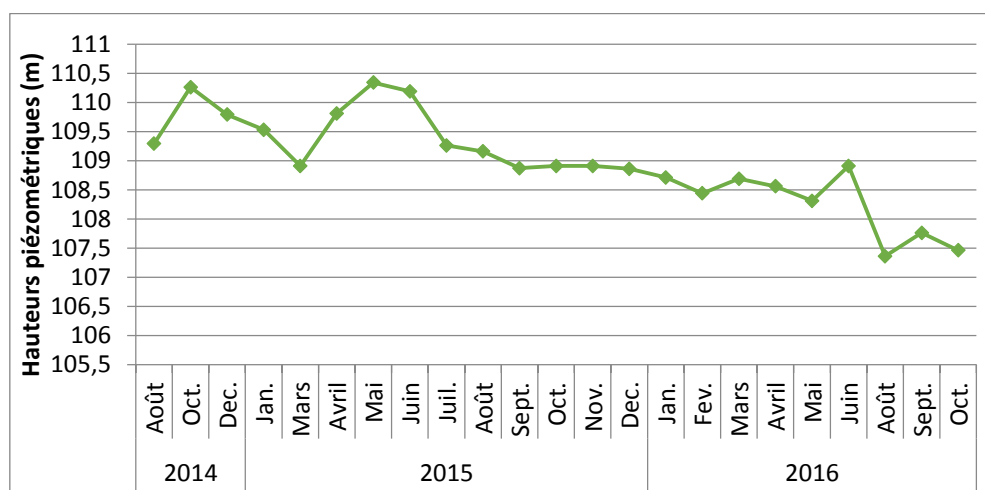


Figure 24 Hauteurs piézométriques mesurées dans le puits Peltan.

4.3.5. Influence de la pluviométrie

L'influence de la pluviométrie sur le débit d'une source et la hauteur piézométrique n'est pas simple à modéliser et dépend de plusieurs paramètres. Il est possible de représenter les variations de hauteur piézométrique et du débit de la source en fonction de la pluviométrie par un nuage de point mettant en relation les variables, mais cette méthode présente des limites. Les résultats de cette analyse pour l'ensemble de la période de relevé sont présentés dans la Figure 25. Ils montrent que la hauteur piézométrique du puits et le débit de la source semblent très peu influencés par les précipitations. Cependant, comme mentionner précédemment cette analyse ne permet pas de modéliser l'effet réel de la pluviométrie, car il existe un décalage entre la pluviométrie et la réponse

du débit et de la hauteur piézométrique, cette analyse est simplement informative et son interprétation difficile.

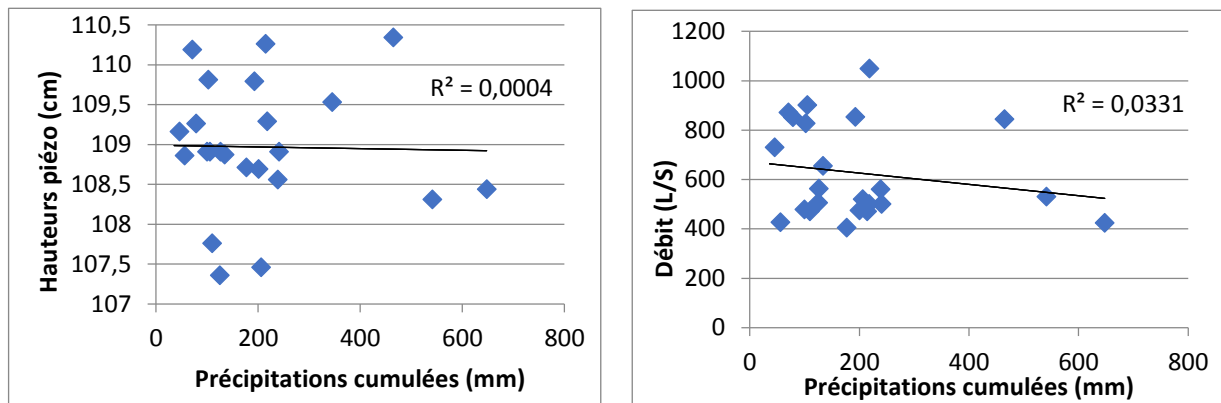


Figure 25 : Hauteurs piézométrique et débits de la source peltan en fonction des précipitations cumulées.

4.3.6. Comparaison avec les données historiques

Précipitations annuelles

Des données pluviométriques historiques issues de la station météorologique de Limbé ont pu être recueillies pour la période de 1923 à 1984, les précipitations annuelles sont présentées dans la Figure 26. La ville de Limbé est située à environ 5-6 km de l'UAL Peltan, ces données permettent donc d'avoir une idée de la variabilité climatique passée dans la région.

La pluviométrie cumulée annuelle moyenne enregistrée sur la période de 1923 à 1984 est de 1 955 mm avec un écart type de 426 mm et des valeurs allant de 1 214 à 2 738 mm. On observe une variabilité temporelle inter-annuelle importante. Cependant, au regard de la courbe de tendance linéaire (en rouge) une stabilité des précipitations au cours de la période est observée.

Sur le graphique, l'année 2015 correspond aux données issues des relevés du pluviomètre installé sur la parcelle de démonstration. L'année 2015 a été choisie, car c'est la seule année pour laquelle le relevé pluviométrique est complet. On observe que la pluviométrie cumulée annuelle enregistrée est de 1 964 mm ce qui est très proche de la moyenne annuelle obtenue pour la période de 1923 à 1984. Ceci qui confirme la validité de nos données, car elles se trouvent dans les mêmes gammes de valeurs que celle issues de la station météorologique de Limbé.

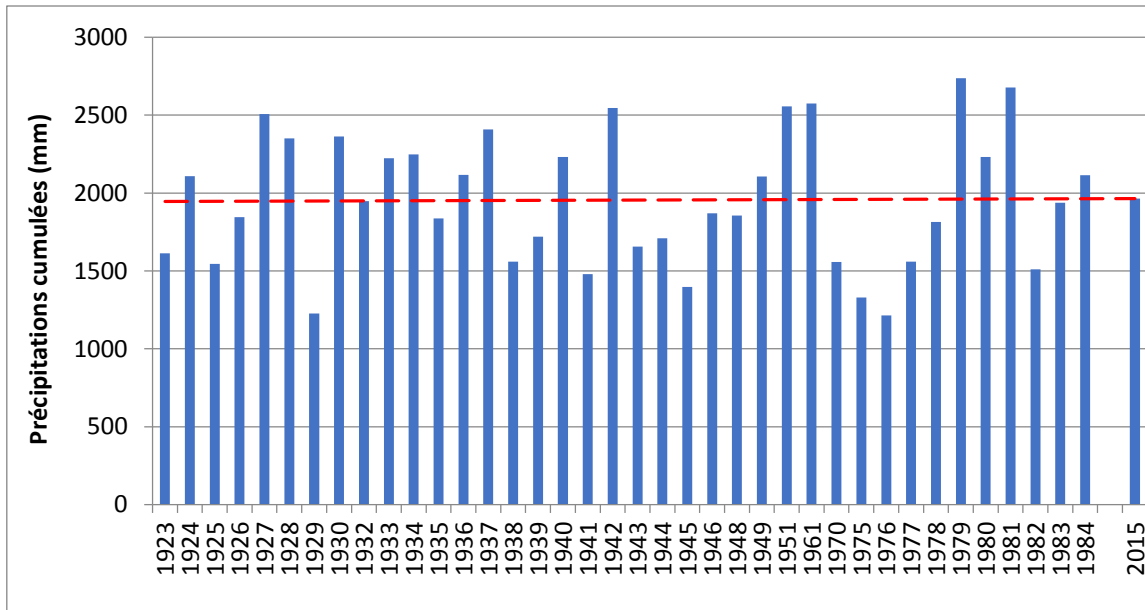


Figure 26 : Précipitations cumulées annuelles sur la commune de Limbé de 1923 à 1984 et précipitations cumulées annuelles relevés dans le site d'étude en 2015.

Précipitations mensuelles

Les données pluviométriques historiques issues de la station météorologique de Limbé pour la période de 1923 à 1984 nous fournissent également les précipitations cumulées mensuelles. Elles sont présentées dans la Figure 27 sous-forme de boîte à moustache dont l'interprétation est décrite dans la Figure 28. Les mois de mai et de novembre sont les mois les plus pluvieux, ils sont caractérisés par une plus grande dispersion des valeurs que les autres mois, ce qui marque les années de sécheresse et les années à forte pluviométrie.

Les précipitations cumulées mensuelles de 2015 relevées dans le site d'étude sont représentées par les courbes de différentes couleurs en fonction du pluviomètre. Pour chaque mois, on observe que les données de 2015 sont comprises dans les gammes de valeurs des données historiques de la période de 1923 à 1984. Cependant à partir du mois de juin 2015 (sauf en octobre) les valeurs de précipitations cumulées mensuelles se situent dans la gamme de valeurs les plus petites des données historiques, avec des valeurs très faibles en novembre et décembre. Si la pluviométrie cumulée sur toute l'année est proche de la moyenne de la période de 1923 à 1984, on remarque ici que la fin de l'année 2015 est marquée par une pluviométrie faible qui est en dessous des normales saisonnières.

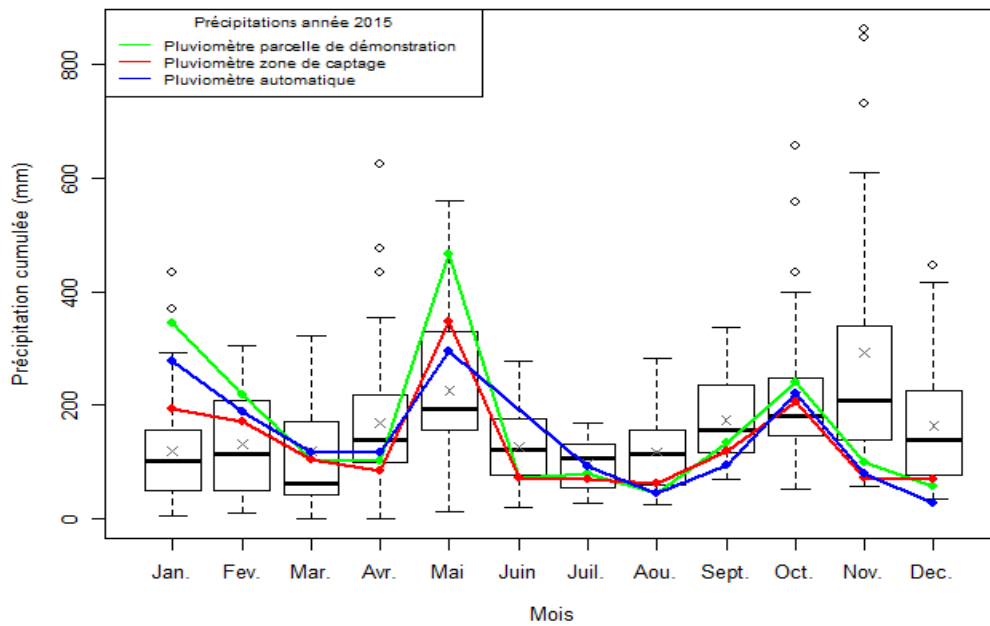


Figure 27 : Boite à moustache des précipitations cumulées mensuelles sur la commune de Limbé de 1923 à 1984 (la croix représente la moyenne) et précipitations cumulées mensuelles de 2015 (courbes)

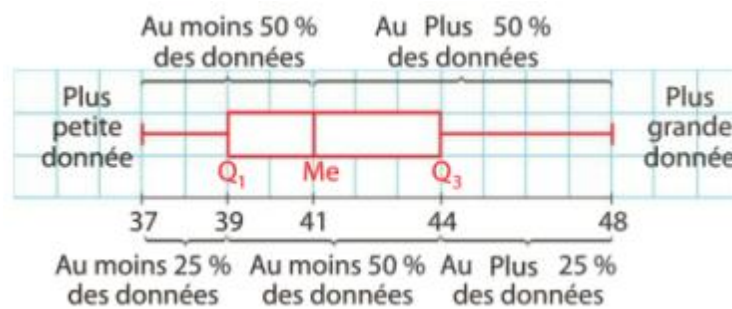


Figure 28 : Interprétation boite à moustache (Me = Médiane, Q1 = Quartile 1, Q3 = Quartile 3)

4.4. Conclusion de l'étude

Cette étude ne permet pas de conclure sur les effets des aménagements sur la ressource en eau en raison des conditions climatiques des dernières années. Cependant, elle a permis d'établir des bases de références et de fournir un nombre important de données mensuelles et annuelles sur la pluviométrie, le débit de la source Peltan et la hauteur piézométrique du puits Peltan, dans la zone d'étude qui pourront être une source de données essentielles par la suite.

5. Evaluation de la qualité des sols

5.1. Objectifs de l'étude

Les vers de terre, également appelés lombriciens, sont des organismes invertébrés du sol connus de tous. Etant composés d'une succession d'anneaux, ils font partie de l'embranchement des annélides. Les lombriciens sont considérés comme ingénieurs du sol par leur rôle important dans le fonctionnement de l'écosystème. Ils agissent sur le processus de décomposition et de brassage de la matière organique, sur la structuration des sols et sur le fonctionnement hydrique des sols. Les conséquences de ces bioturbations permettent, entre autres, la réduction de l'érosion, la stimulation de l'activité microbienne, l'augmentation de la production végétale ainsi que la réduction des risques de pollution (Cluzeau et al, 1999).

Les vers de terre sont révélateurs des états et des usages du sol, car ils sont intimement liés aux constituants du sol, ils réagissent ainsi aux modifications que subit leur environnement (Péres et al. 2011). Ils agissent dans les processus de décomposition des matières organiques, de structuration et sur le fonctionnement hydrique des sols. Les vers de terre brassent d'importantes quantités de sol (jusqu'à 30 tonnes / ha par an en prairie tempérée). Ils créent des structures et de la porosité via les réseaux de galeries via les logettes d'estivation et l'ingestion et la déjection de sol.

Les vers de terres sont donc influencés par les caractéristiques du sol et sont sensibles à leur environnement. Les principaux facteurs influençant l'abondance de vers de terre sont :

- La texture (Texture sableuse moins favorable)
- Le PH
- La quantité et qualité des matières organiques
- L'humidité (Hydromorphie)
- La profondeur de sol

L'activité biologique du sol est sensible aux pratiques agricoles et donc aux pratiques agroécologiques. Parmi les pratiques les plus courantes dans la zone du projet PAD Nord et qui ont une influence sur l'activité des vers de terre on trouve :

- la fertilisation organique (fumier, compost) (++)
- le type de travail du sol
 - o Labour (-)
 - o Travail superficiel (+)
 - o Semis direct (++)
- le couvert végétal (+)
- la pression de pâturage (-)

L'objectif de cette étude est de mesurer et de suivre dans le temps l'activité biologique du sol à travers l'indicateur "vers de terre" afin **(1) de comparer les différents systèmes agricoles entre eux, (2) de déterminer les systèmes les plus favorables aux vers de terre et (3) d'établir des valeurs de références sur quelques systèmes emblématiques du PAD Nord.** Il s'agit aussi de comparer l'évolution de ces valeurs à la fin du projet et ainsi mesurer l'impact des pratiques agricoles sur la densité et la biomasse lombricienne.

Cette étude a été réalisée en deux temps (en février 2015 et avril 2016) par Dave-Son Val, étudiant à la faculté d'agronomie de l'Université Chrétienne du Nord d'Haïti (UCNH), appuyé par l'équipe

d'Agrisud et d'Etc Terra. Les méthodologies, les principaux résultats et conclusions sont présentés ici, l'ensemble de l'étude est présenté dans les rapports de stage.

5.2. Dispositif expérimental

5.2.1. Plan d'échantillonnage

L'impact des pratiques agroécologiques peut être mesuré dans le temps à travers la répétition des mesures sur une même placette. Cet indicateur réagissant assez vite dans le temps, il est possible d'obtenir des résultats rapidement (de l'ordre de quelques mois) en fonction de la pratique adoptée.

Pour être efficace, les mesures répétées dans le temps doivent s'effectuer au cours de périodes pendant lesquelles on observe des conditions climatiques similaires (température, pluviométrie).

Au sein d'une même parcelle (présentant des conditions similaires de sol, de végétation, de pratiques agricoles...), une mesure doit être répétée au minimum 3 fois afin de calculer une moyenne et un écart type.

Les mesures ont été réalisées sur 3 Unités d'Aménagement Locales (UAL) différentes : Acul Jeannot, Corail et Lombard. Au total, 8 mesures ont été réalisées avec une répétition de 3 placettes pour chaque mesure soit un total de 24 placettes (Figure 29). Les différents systèmes étudiés sont:

- système manioc associé en agroécologie ;
- système manioc associé en système traditionnel (sans rampes végétalisées);
- étude de l'effet des rampes végétalisées en système manioc associé en agroécologie ;
- système "petite forêt" ;
- système prairie.

Les 3 placettes étaient distantes d'environ 5 à 10 mètres les unes des autres en fonction des conditions du terrain. En plus des placettes, 2 échantillons de sol (environ 100 g) ont été prélevés et pesés, par mesure, dans les horizons 0-10 cm et 10-20 cm, soit un total de 16 échantillons, afin de déterminer le taux d'humidité du sol au moment du prélèvement. Les échantillons de sol ont ensuite été séchés à environ 115 °C pendant 12 heures (2 x 6 heures) afin de déterminer le pourcentage d'humidité.

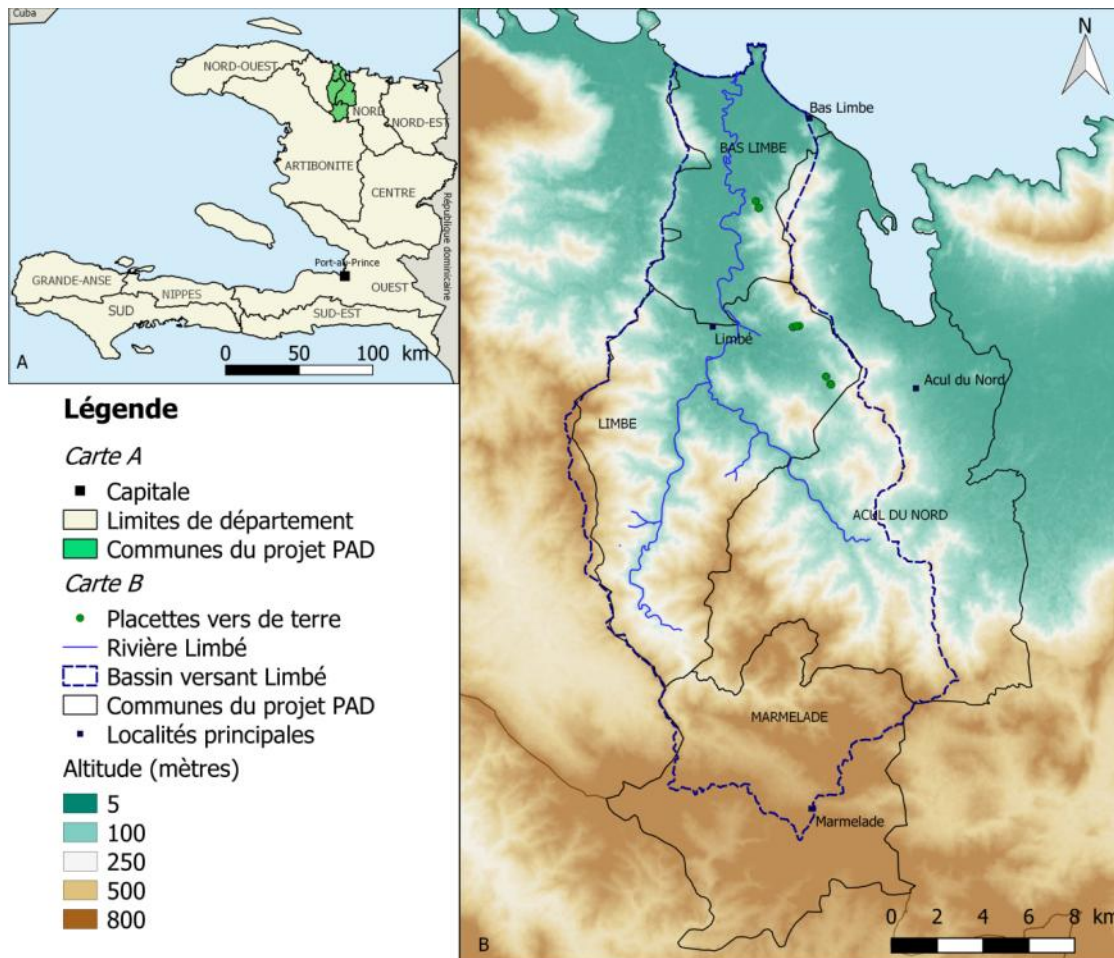


Figure 29 : Localisation des placettes d'échantillonnage de vers de terre

5.2.2. Méthodes d'échantillonnage

La méthode utilisée est adaptée de la méthode Cluzeau et al. (1999)

Description simplifiée de la méthode de mesure :

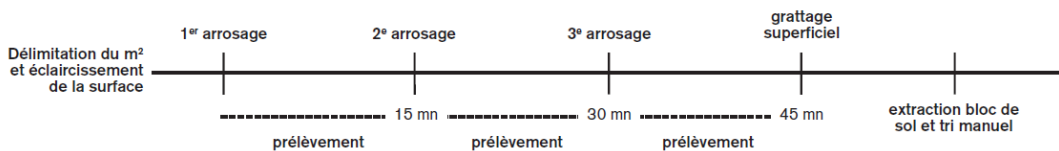
- La première étape consiste à identifier une zone représentative du milieu et à dégager la surface qui va être échantillonnée (ex : couper délicatement et exporter la végétation en place ; ôter délicatement la litière ou les amas organiques type écorces)
- Délimiter 1m² à l'aide de 4 piquets et d'une ficelle (Figure 30)
- Les vers de terre sont ensuite prélevés et comptés grâce à l'application d'une solution au formol : trois arrosages de solution formolée (3 x 10 L, concentrations 0.25 %, 0.25%, 0.4%) sont appliqués sur 1m², à 15 minutes d'intervalle. Les vers de terre adoptant un comportement de fuite en réponse aux propriétés urticantes du formol, sont prélevés à la surface du sol.
- Un grattage superficiel (1 cm de profondeur) est ensuite réalisé pour récupérer les individus non récoltés (durée totale de prélèvement : 1 heure).
- Cette étape est complétée par un prélèvement physique : un bloc de sol (0,25 x 0,25 x 0,20 m de profondeur) est extrait au sein du m² et trié manuellement (durée du tri : 15-30 minutes).

- Remplir la fiche de terrain



Figure 30 : Préparation de la solution de formol par dilution (gauche) et arrosage de solution formolée sur une placette d'1 m² (droite).

Résumé de la méthode



Paramètres mesurés et formules:

- Abondance = Nombre d'individus / m²

Abondance = Total Nb de vers de terre = (X1 + X2 + X3 + X4) + 4Y

- Biomasse = g / m²

Biomasse = Poids total de vers de terre = (X1 + X2 + X3 + X4) + 4Y

Avec : X1 : Vers premier arrosage ; X2 : Vers deuxième arrosage ; X3 : Vers troisième arrosage ; X4 : Vers grattage superficiel ; Y : Vers tri manuel (fosse).

5.2.3. Analyse des données

Les données d'abondance et de biomasse des vers de terre, ont été, par la suite, comparées entre les différents systèmes agricoles étudiés, les différents UAL et en fonction des facteurs, par un test non-paramétrique de Kruskal Wallis qui permet de comparer les moyennes de différents échantillons.

5.3. Résultats principaux

Résultats globaux pour la première année : Pour l'ensemble des 24 placettes échantillonnées dans les 3 UAL la première année, le nombre de vers de terre (VDT), donc la densité s'étend de 0 VDT/m² à 93 VDT/m² avec une moyenne de 19 VDT/m² et un écart type de 21 VDT/m². Le poids des vers de terre s'étend de 0 VDT/m² à 40 VDT/m² avec une moyenne de 9,4 VDT/m² et un écart type de 11,7 VDT/m². Il existe donc une grande disparité des résultats entre les placettes échantillonnées.

5.3.1. Comparaison des systèmes agricoles

Les résultats de l'analyse de l'influence des pratiques culturales mises en place par les producteurs sur l'activité biologique des sols (nombre et poids de vers de terre) sont présentés dans la Figure 31.

Globalement, les rampes végétalisées, située dans les systèmes « manioc associé agroécologique », présentent en moyenne le plus grand nombre de vers de terre (32,5 VDT/m²). Les rampes végétalisées sont riches en matière organique et présentent un bon niveau d'humidité, ce qui favorise la présence de vers de terre et leur biomasse.

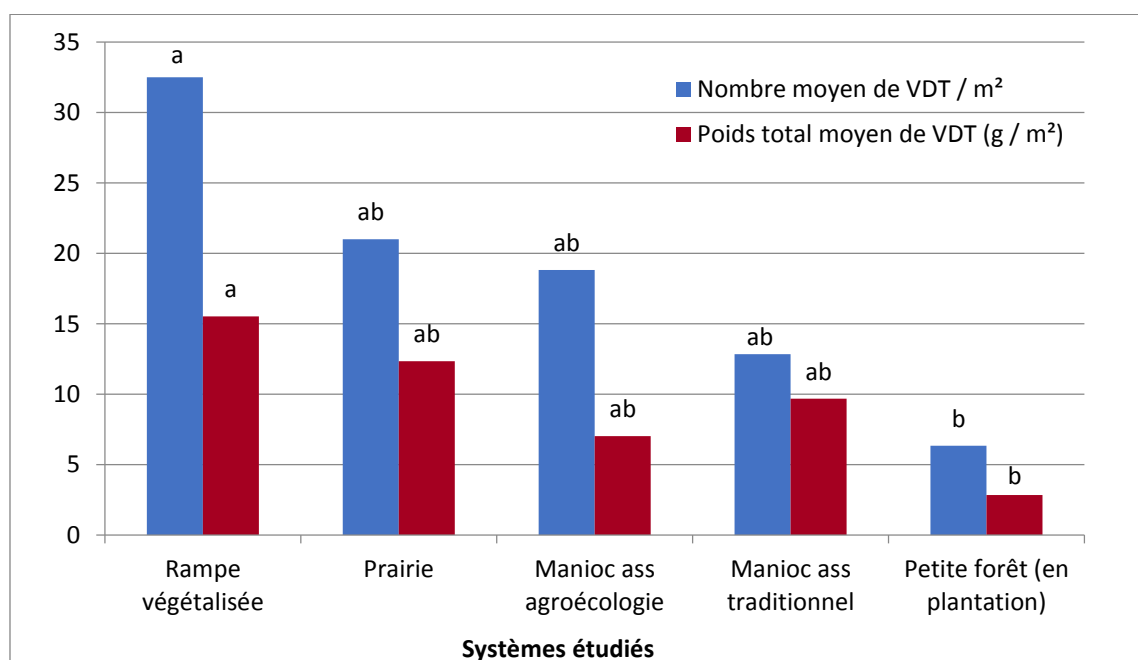


Figure 31 : Nombre et poids de vers de terre récoltés par systèmes agricoles. Les moyennes qui ne présentent pas le même indice (a, b) sont différentes (Test de Kruskal Wallis, $p(H_0) < 0,05$).

Les résultats montrent une variation du nombre et du poids des vers au sein d'une même parcelle en fonction de la position des mesures effectuées par rapport aux rampes. Sur les rampes, on a trouvé en moyenne 32 VDT/m² et 19 VDT/m² entre les rampes. Pour ce qui est du poids, il double des inter-rampes aux rampes, ainsi il passe de 7.01 g/m² à 15.53 g/m². La présence des rampes favorise donc la présence des vers de terre.

L'itinéraire technique mis en place au sein de chaque système de culture a une influence sur le nombre et le poids des vers de terre. Les systèmes « manioc associé agroécologique » (MAA) favorise, en moyenne, la présence des vers de terre par rapport au système « manioc associé traditionnel » (MAT). En système MAA, on récolte 19 VDT/m² en moyenne, contre 13 VDT/m² dans le système MAT.

5.3.2. Comparaison des UAL

En moyenne, l'UAL Corail présente le plus grand nombre de vers de terre avec 23 VDT/m², suivit de l'UAL Acul-Jeannot avec 21 VDT/m² et de l'UAL Lombard avec 14 VDT/m² (Figure 32). Cependant, il n'existe pas de différences significatives du nombre et du poids de vers de terre, entre les différentes

UAL. En moyenne le nombre et le poids des vers de terre échantillonnés dans les différents UAL est comparable.

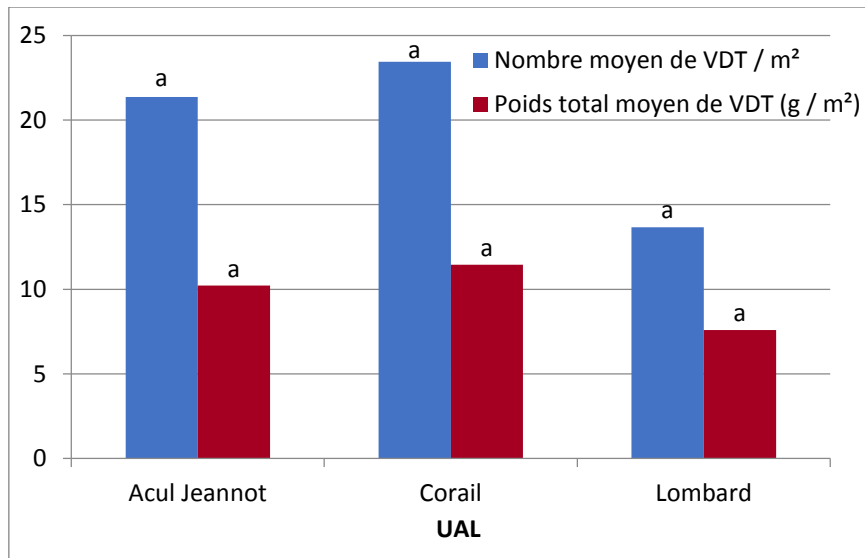


Figure 32 : Nombre et poids de vers de terre récoltés par UAL

5.3.3. Influence de la jachère sur la présence de vers de terre

Les résultats montrent que la mise en jachère et sa durée ont une influence sur le nombre de vers de terre (Figure 33). Globalement, la pratique de la jachère pendant une période de 12 mois favorise une augmentation significative du nombre moyen d'individus. En effet dans les placettes pour lesquelles il n'y a aucune pratique de jachère, on a récolté en moyenne 13 VDT/m² contre 31 VDT/m² pour les systèmes au sein desquels on respecte un temps de jachère de 12 mois. Pour une période de jachère allant de 12 à 24 mois le nombre et le poids moyen des sujets diminuent, passant à 20 VDT/m², cependant, ces différences ne sont pas significatives.

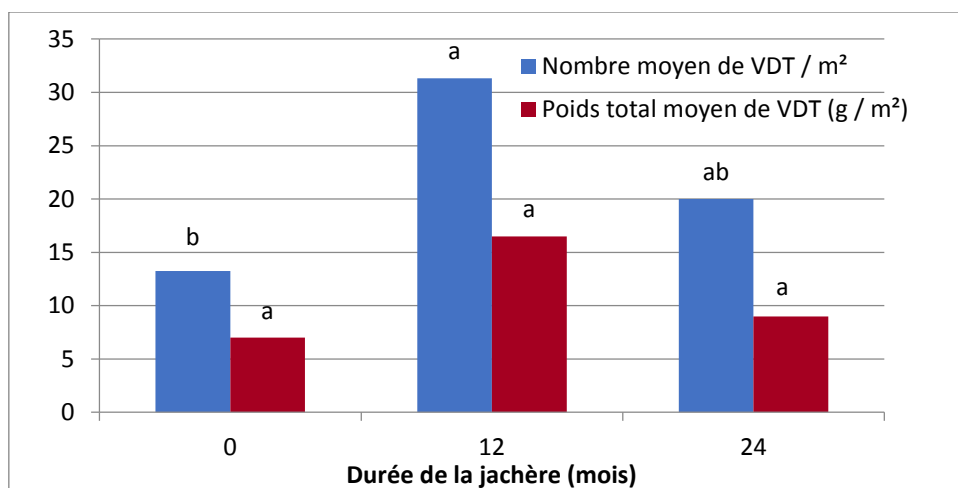


Figure 33 : Nombre et poids de vers de terres récoltés en fonction de la durée de la jachère

5.3.4. Influence de la pente sur la présence de vers de terre

La figure 34, présente le nombre et le poids de vers de terre par systèmes et selon trois classes de pente (0-19, 20-50 et 51-80 %). Les placettes inventoriées dans les systèmes « prairies » et « petite

forêt » sont présentes que dans une seule classe de pente, donc seulement les systèmes « Manioc associé agroécologique », « Manioc associé traditionnel » et les Rampe végétalisées vont nous intéresser pour étudier l'effet de la pente. On observe que dans les systèmes « Manioc associé agroécologique » et « Manioc associé traditionnel » le nombre et le poids de vers de terre diminue dans les pentes fortes contrairement aux systèmes « Rampe végétalisée » qui présente une augmentation du nombre et du poids de vers de terre dans les fortes pentes. On a pu voir précédemment que les rampes végétalisées favorisaient la présence de vers de terre, dans ce système les fortes pentes sont également bénéfiques à la présence de vers de terre. Au contraire dans les systèmes manioc associées qu'ils soient en culture traditionnelle ou agroécologique les placettes sur des fortes pentes présentent moins de vers de terre, cela peut être relié à la diminution de la matière organique dû au ruissellement.

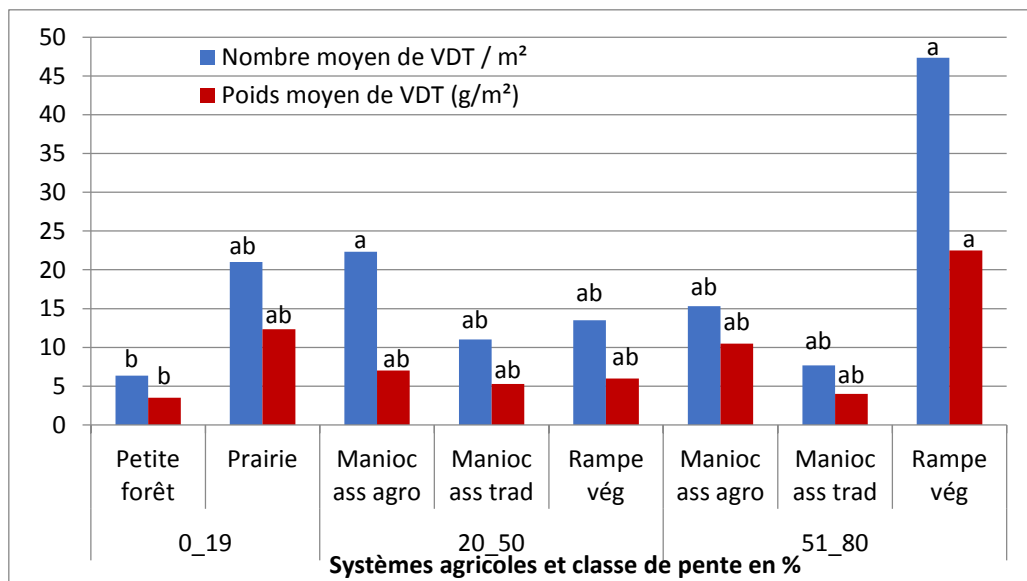


Figure 34 : Nombre et poids de vers de terre en fonction de la classe de pente

5.3.5. Evolution de la présence de vers de terre après 1 an

Résultats globaux pour la deuxième année : Pour l'ensemble des 21 placettes échantillonnées dans les 3 UAL, le nombre de vers de terre s'étend de 15 VDT/m² à 115 VDT/m² avec une moyenne de 36 VDT/m² et un écart type de 24 VDT/m². Le poids des vers de terre s'étend de 5 VDT/m² à 49,5 VDT/m² avec une moyenne de 17,5 VDT/m² et un écart type de 11,4 VDT/m². Le nombre de vers de terre et les biomasses mesurées sont donc, en moyenne, supérieurs par rapport à la première année d'échantillonnage.

Comparaison des systèmes agricoles : La figure 35 présente le nombre de vers de terre et de la biomasse mesurées dans les différents systèmes dans les mêmes placettes la première (A1) et la deuxième année (A2). Certaines placettes de rampe végétalisée ont été converties en système « manioc associé agroécologique » et sont représentées ici dans la catégorie « changement », de plus certaines placettes en rampes végétalisées n'ont pas été échantillonnées la deuxième année.

Les résultats montrent une augmentation du nombre de vers de terre et de leur biomasse la deuxième année, pour toutes les parcelles échantillonnées les deux années. Le système « manioc associé agroécologique » présente la plus forte augmentation passant de 18 VDT /m² la première

année à 46 VDT par m² la deuxième année, ce qui montre l'effet positif des pratiques agroécologiques sur la présence des vers de terre et leur biomasse. Les parcelles échantillonnées dans les systèmes « manioc associé traditionnel » ont tous connu une période de jachères de plusieurs mois, ce qui peut expliquer l'augmentation de la biomasse et du nombre de vers de terre la deuxième année.

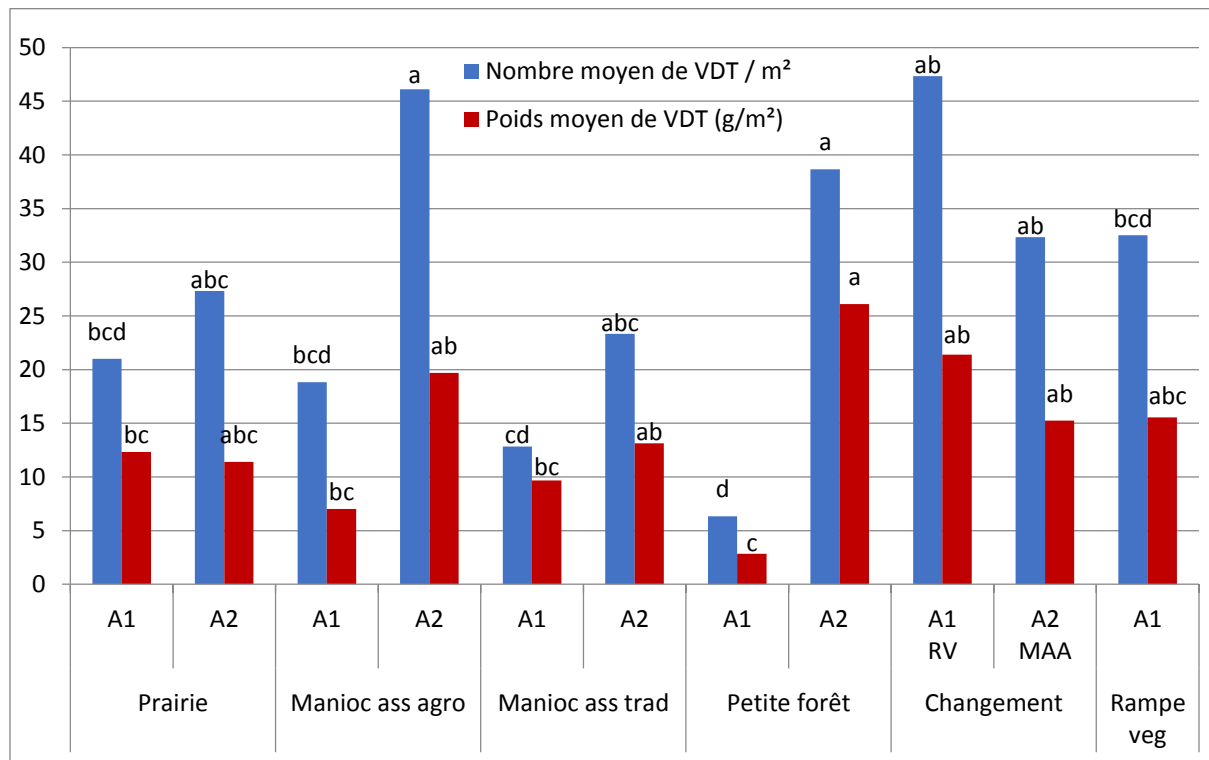


Figure 35 : Nombre et poids de vers de terre par système agricole et par année (A : Année ; RV: Rampe végétalisée ; MAA : Manioc associé en agroécologie)

Les placettes relevées dans les rampes végétalisées, la première année, et convertie en système « manioc associé agroécologique », la deuxième année, présentent une diminution du nombre et de la biomasse des vers de terre entre les deux années d'échantillonnage. Cependant, on observe que le nombre d'individus et la biomasse mesurée en deuxième année est élevée, ce qui montre l'effet bénéfique de la rampe végétalisée la première année.

Ces résultats montrent que l'abondance et la biomasse des vers de terre varient rapidement en fonction des pratiques culturales. Ce qui fait de la densité lombricienne un indicateur sensible et rapide d'évolution de la qualité du sol.

Comparaison des UAL : La figure 36 présente le nombre et la biomasse des vers de terre échantillonnés par année dans chaque UAL. Le nombre et la biomasse des vers de terre ont augmenté d'une année à l'autre dans chaque UAL, avec des différences significatives entre l'année 1 et l'année 2 dans les UAL Corail et Lombard. La deuxième année, l'UAL Acul Jeannot présente le plus grand nombre de vers de terre avec 39 VDT/m² suivit de l'UAL Corail 36 VDT/m² avec et de l'UAL Lombard avec 33 VDT/m². Il n'y a pas de différences significatives entre les résultats obtenus pour les 3 UAL, la deuxième année.

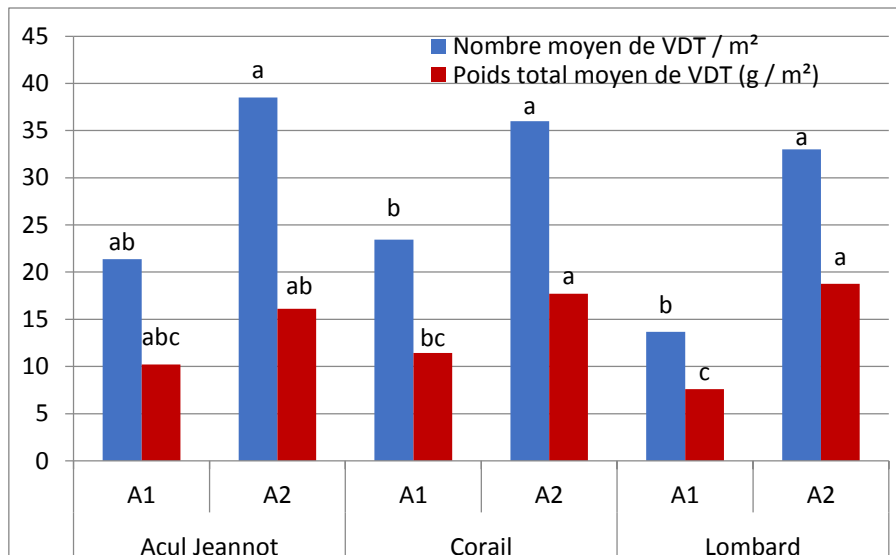


Figure 36 : Nombre et poids de vers de terre par UAL et par année

5.4. Conclusion de l'étude

La densité lombricienne, c'est-à-dire le nombre et la biomasse de vers de terre à l'hectare est un indicateur reconnu de la qualité des sols, de par la sensibilité des vers de terre aux pratiques culturales et par leurs actions directes sur les propriétés physiques, chimiques, biologiques du sol. Cette étude a permis d'évaluer l'incidence des pratiques culturales mises en place dans certains systèmes de culture dans l'aire d'intervention du projet PAD-Nord. Elle a permis de démontrer que les pratiques agroécologiques mises en œuvre par les producteurs sont profitables au maintien et au développement de la densité lombricienne dans le sol et ont donc des effets positifs sur le fonctionnement biologique du sol.

6. Empreinte carbone des exploitations agricoles

6.1. Objectifs de l'étude

L'empreinte carbone d'une exploitation agricole (EA) renvoie à la mesure de la contribution des activités agricoles au changement climatique, en termes d'émission et de stockage de gaz à effet de serre (GES) (Wiedmann et Minx, 2007). Elle est mesurée en tonne équivalent dioxyde de carbone par hectare (teqCO₂/ha). Le secteur agricole, constitue un poste émetteur important de gaz à effet de serre, principalement CO₂, CH₄ et N₂O. L'empreinte carbone est influencée par les différentes pratiques agricoles et activités entreprises sur l'exploitation agricole.

Au sein du bassin versant de Limbé, Nord Haïti, les agriculteurs ont des pratiques qui sont a priori tantôt émettrices (labourage, riziculture, ...) et tantôt séquestrantes (le fait de laisser à la surface des résidus de récolte, paillage des cultures, agroforesterie, ...). Ainsi, il devient important de comprendre comment les activités et les pratiques agricoles impactent l'empreinte carbone des exploitations agricole de plus il s'agit d'une étude pionnière en Haïti.

L'étude a pour objectif principal de **fournir une première analyse de l'empreinte carbone des exploitations à l'échelle du bassin versant de Limbé et de donner des valeurs de référence pour les différents postes d'émission et de séquestration de GES**. Il s'agit également (1) Identifier les différentes activités et pratiques agricoles considérées comme postes d'émission de GES ou « sources » et postes de séquestration de carbone ou « puits » au sein des EA ; (2) Adapter un calculateur de l'empreinte carbone (EX-ACT de la FAO) au contexte du bassin versant de Limbé ;(3) Évaluer les flux de GES (en t eqCO₂/ha) en fonction des différents postes de l'exploitation agricole (agriculture annuelle, système pérenne, élevage, intrants et consommation d'énergie).

Cette étude a été réalisée au deuxième semestre 2015, par Louis Juste Charles, étudiant à la faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire (FAMV) de l'Université d'Etat d'Haïti, appuyé par l'équipe d'Agrisud et d'Etc Terra. Les méthodologies, les principaux résultats et conclusions sont présentés ici, la totalité de l'étude est présentée dans le mémoire de stage.

6.2. Dispositif expérimental

L'étude a été réalisée sur 8 Unités d'Aménagements Locales (UAL) réparties sur les 4 communes du bassin versant de Limbé : Marmelade, Limbé, Acul du Nord et Bas Limbé.

Les méthodes adoptées dans le cadre de cette étude sont décrites à la suite.

6.2.1. Définition d'un échantillon d'exploitations agricoles représentatives

A partir de la base de données « producteurs » du projet qui contient les informations monographiques (compositions, situations, systèmes de cultures) des exploitations agricoles situées sur la zone du projet et de visite de reconnaissance sur le terrain, une typologie des exploitations agricoles a pu être établie et 30 exploitations ont été sélectionnées (Figure 37).

Cette typologie est basée sur 2 critères, (1) la position topographique des parcelles cultivées sur l'exploitation (zone de pente, de plaine exondée ou de dépression marécageuse), (2) les systèmes de cultures (agroforesterie, culture sarclées sauf riz, riz/canne). Le Tableau 7 présente la typologie des exploitations agricoles réalisée en fonction des 2 critères.

Tableau 7 : Typologie des exploitations agricoles (SAU : surface agricole utile, les pourcentages sont exprimés par rapport à la surface totale des exploitations)

Type d'EA	Code	Description des types
Type I	AP	Localisation : pente Occupation de la SAU : Plus de 50% en agroforesterie
Type II	CSP	Localisation : pente Occupation de la SAU : Plus de 50% en cultures sarclées sauf riz
Type III	APL	Localisation : plaine exondée Occupation de la SAU : Plus de 50% en agroforesterie
Type IV	CSPL	Localisation : plaine exondée Occupation de la SAU : Plus de 50% en en cultures sarclées sauf riz
Type V	RCM	Localisation : dépression marécageuse Occupation de la SAU : Plus de 50% en riz/canne

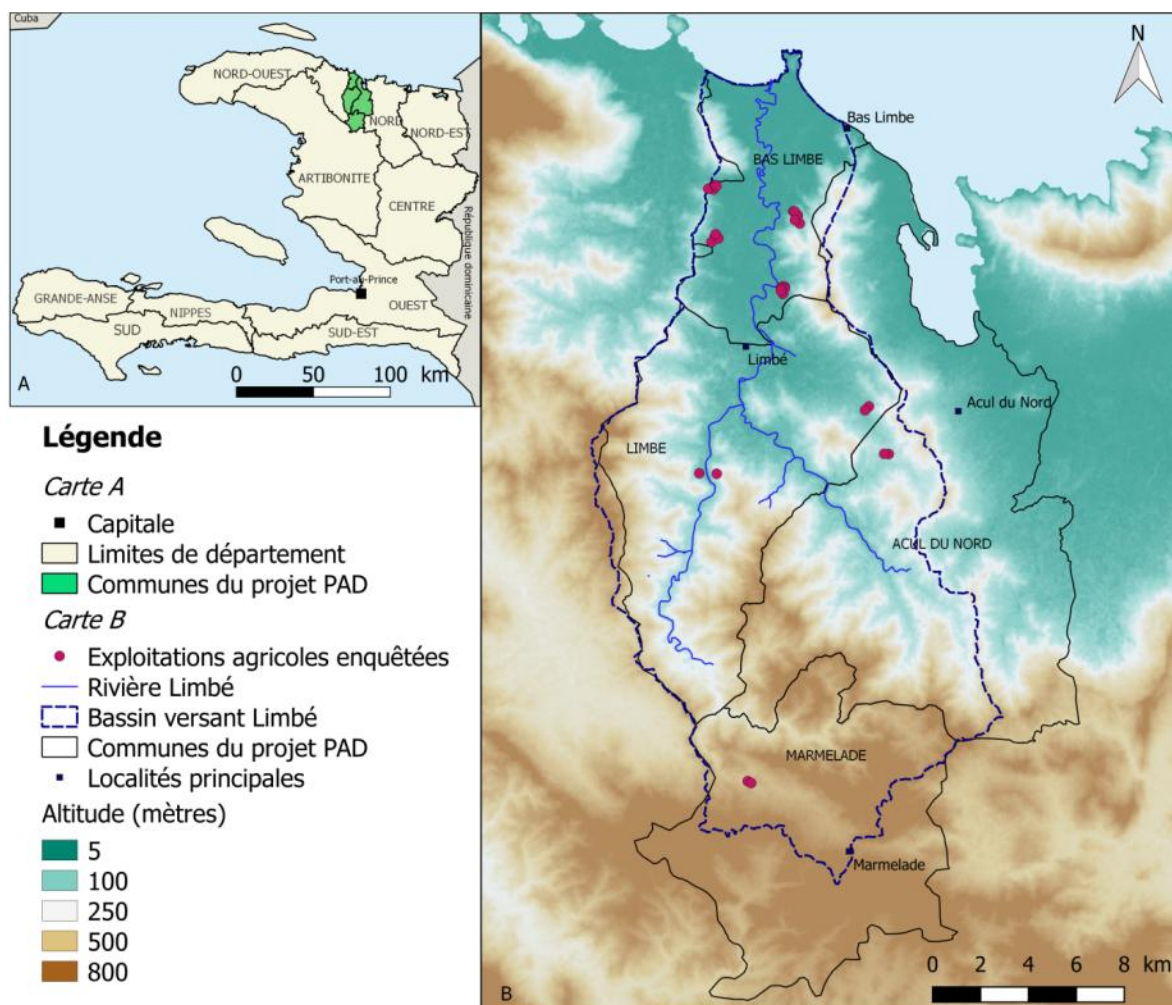


Figure 37 : Localisation des exploitations agricoles enquêtées

6.2.2. Enquête terrain auprès des exploitations agricoles

Des enquêtes de terrain ont été réalisées auprès des exploitations agricoles sélectionnées en vue :

- d'identifier les activités et pratiques agricoles considérées comme postes d'émission de GES (« sources ») ;

- d'identifier les activités et pratiques agricoles considérées comme postes de séquestration (« puits ») ;
- d'obtenir les coordonnées géographiques des différentes parcelles des exploitations agricoles à l'aide d'un GPS;
- mesurer la superficie exacte des parcelles constituant les exploitations.

L'ensemble des données recueillies sur les exploitations agricoles ont été consignés dans une base de données Excel.

6.2.3. Inventaire des espèces ligneuses sur les parcelles des exploitations

Les espèces ligneuses constituant un important poste de séquestration de carbone, il s'avère donc nécessaire d'inventorier ces espèces pour calculer le bilan carbone des exploitations agricoles. Des inventaires des espèces ligneuses sur les parcelles de chaque exploitation agricole ont été réalisés en vue de déterminer le capital en bois de ces exploitations.

De plus, des mesures dendrométriques (hauteur, diamètre) ont été réalisées sur les 9 espèces ligneuses dominantes afin de déterminer les coefficients de séquestration de carbone des arbres et de réaliser des courbes de croissance par espèces.

Les méthodes et les résultats de ces mesures ont été explicités plus haut, dans le paragraphe « 3. Séquestration du carbone dans la biomasse ». Les informations relatives aux inventaires ont été également consignées dans la base de données des exploitations agricoles.

6.2.4. Calcul de l'empreinte carbone des exploitations agricoles enquêtées

Choix de l'outil

Plusieurs outils ont été développés depuis quelques années pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et/ou la séquestration de carbone liés aux activités agricoles et forestières (Bernoux et al. 2010, Colomb et al. 2013). Toutefois, même s'ils sont tous basés selon les méthodes proposées par le Groupe Intergouvernemental d'Expert sur le Climat (GIEC) pour les inventaires nationaux (IPCC, 2006), ils diffèrent suivant l'échelle d'étude, les sources d'émissions qui sont prises en compte et les pratiques/activités qu'ils incluent.

Pour cette étude, le choix s'est porté sur l'outil EX-ACT (*Ex Ante Carbon-balance Tool*) développé par la FAO. EX-ACT est un outil qui peut être appliqué partout dans le monde à différents niveaux d'analyse (projet, programme, secteur, filière...), basé sur le changement d'utilisation des terres, les pratiques agricoles, et les autres secteurs liés à l'agriculture émetteurs de GES (énergie, construction d'infrastructures, utilisation d'intrants, ...). Il permet de déterminer facilement si les projets menés ont a priori un pouvoir réparateur. Il peut être mis à jour facilement en fonction des nouvelles données. Il est un outil d'aide à la décision qui donne une estimation et non une mesure du bilan carbone. Il couvre les différentes utilisations des terres possibles en agriculture, en foresterie, prend aussi en compte le changement d'utilisation des terres et les autres activités agricoles impactant les émissions de GES.

Principe de l'outil

Pour rendre compte de l'inventaire des GES émis et stockés dans le développement agricole et forestier, l'outil est basé sur différents modules (Figure 38) :

- Déforestation ;
- Afforestation ;
- Changement d'usage des terres non forestières ;
- Agriculture : Culturelles annuelles, pérennes, riz inondé ;
- Prairies ;
- Bétail ;
- Intrants ;
- Autres : consommation de ressources énergétiques, construction de nouvelles infrastructures, construction de systèmes d'irrigation.

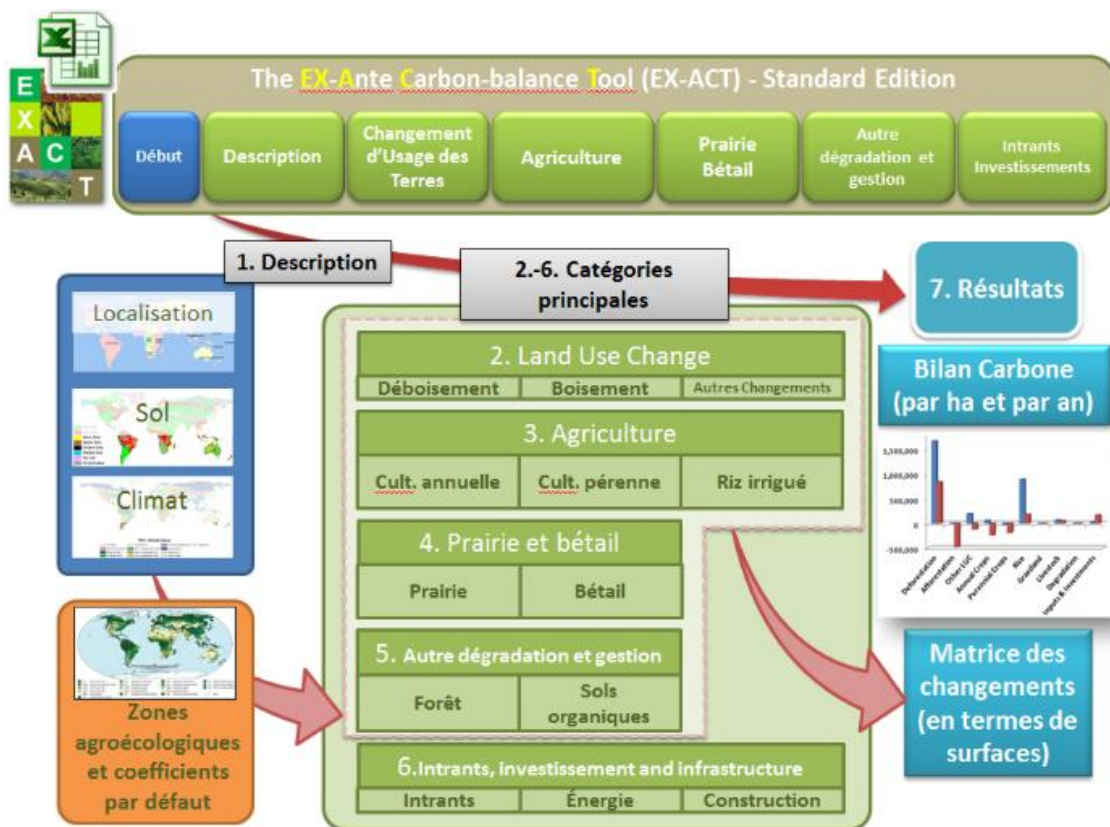


Figure 38 : Aperçu de l'outil EX-ACT.

L'outil EX-ACT apporte des

estimations ex-ante de l'impact des projets de développement agricole et forestier sur les émissions de GES et la séquestration de carbone, indiquant leurs effets dans un bilan carbone. Ce dernier (bilan des sources et des puits) est calculé en comparant deux scénarios : un scénario « sans projet » et un scénario « avec projet ». La sortie principale de l'outil est le bilan carbone entre ces deux scénarios, soit l'impact positif ou négatif additionnel apporté par la mise en œuvre du projet. L'outil peut être utilisé pour déterminer le bilan carbone d'une situation de référence dans le cas d'un scénario « avant-projet ». C'est ce dernier cas de figure qui fait l'objet de la présente étude.

Adaptation de l'outil EX-ACT au contexte du bassin versant de Limbé

Puisqu'il s'agit d'une étude réalisée pour la première fois en Haïti, particulièrement au niveau du bassin versant de Limbé, il a été nécessaire d'effectuer des modifications dans l'outil EX-ACT afin que celui-ci reflète la réalité du milieu d'étude.

- Un choix des modules à renseigner a été effectué. Les modules « cultures annuelles », « systèmes pérennes », « riz inondé », « bétail », « intrants » et « autres investissements » ont été renseignés, les autres modules (déforestation, afforestation, changement d'usages des terres non forestières, prairies) ont été masqués car ces catégories n'étaient présentes dans les exploitations enquêtées.
- Les coefficients de séquestrations de carbone liés aux arbres ont été insérés dans l'outil EX-ACT.
- Une rubrique qui mentionne le nombre d'arbres inventoriés sur chaque exploitation agricole en incluant la densité du bois de l'espèce ligneuse en question et son âge a été intégrée dans l'outil.
- Les facteurs de séquestration de carbone liés aux pratiques agroécologiques ont été intégrés à l'analyse.

6.2.5. Analyse statistique des résultats.

Les résultats de l'estimation de l'empreinte carbone obtenus par exploitation agricole dans l'outil EX-ACT ont été transcrits sur une base de données récapitulative Excel afin de constituer la matrice des données. À partir du logiciel R version 2.13.1, le test de Fisher au seuil de signification 5% a été utilisé pour la comparaison multiple des moyennes.

6.3. Résultats principaux

6.3.1. Description des exploitations enquêtées

Pratiques agricoles considérées comme postes de séquestration :

Suite aux enquêtes effectuées auprès des 30 exploitations agricoles, des pratiques agricoles qui sont considérées comme postes de séquestrer de Gaz à Effet de Serre (GES) ont pu être identifiées :

- Les résidus de récolte et les adventices après débroussaillage laissés sur les parcelles enrichissent la litière du sol ;
- Le paillage des buttes d'igname apporte de la matière organique au sol après décomposition de ces pailles ;
- L'utilisation du compost, une partie contribue à augmenter la quantité de carbone du sol ;
- Le non labour évite de larguer du carbone dans l'atmosphère par le fait de retourner le sol ;
- La mise en place des rampes antiérosives limite l'érosion de la couche arable du sol riche en éléments nutritifs ;
- La plantation d'arbres permet de séquestrer de carbone via photosynthèse.

Activités considérées comme postes d'émission de GES :

Outre les pratiques agricoles considérées comme postes de séquestration de GES identifiées sur les exploitations agricoles, il existe aussi des activités qui, en revanche, concourent à émettre des GES dans l'atmosphère :

- La consommation d'énergie (bois de chauffe, charbon de bois, carburants) dont la combustion produit des GES (gaz carbonique par exemple) ;

- L'usage de compost dont une partie contribue dans l'émission de GES (protoxyde d'azote par exemple) ;
- L'élevage dont les animaux émettent de GES (méthane par exemple) via la fermentation entérique.

Cheptel par exploitation agricole :

Les principaux types d'élevage pratiqués sur les exploitations agricoles sont les bovins, caprins et volailles. Leurs têtes de bétail ont varié en moyenne de 1.38 à 2.43 pour les bovins, de 0.50 à 2.60 pour les caprins et de 3.00 à 9.00 pour les volailles. Il existe d'autres types d'élevage (porcins, lapins et équins) mais ils ne sont pas présents sur l'ensemble des types d'exploitations agricoles étudiées.

Espèces ligneuses inventoriées et coefficient de séquestrations de carbone

Les résultats de ces mesures ont été explicités plus haut, dans le paragraphe « 3. Séquestration du carbone dans la biomasse ».

6.3.2. Empreinte ou bilan carbone des exploitations agricoles

Après avoir adapté l'outil EX-ACT au contexte du bassin versant de Limbé, toutes les informations collectées pour chaque exploitation agricole ont été saisies afin de déterminer pour celle-ci l'empreinte ou bilan carbone. Les valeurs positives (+) du bilan correspondent à l'émission de GES ; par contre, celles affectées de signe (-) renvoient à la séquestration de carbone.

Empreinte ou bilan carbone par poste d'émission ou de séquestration de GES

L'agriculture annuelle via les pratiques agroécologiques et le système pérenne à travers les espèces ligneuses constituent de véritables postes de séquestration de GES. Le bilan carbone des cultures annuelles varie de -0.59 à -0.23 t eqCO₂/ha, sans différences significatives entre les 5 types d'exploitations agricoles. En ce qui concerne les cultures pérennes, le bilan carbone a varié de -3.67 à 0.00 t eqCO₂/ha. Des différences significatives ont été observées entre le type III et les autres.

Les postes d'émission de GES dans l'atmosphère sont le riz via la décomposition anaérobie de la matière organique, le bétail à travers la fermentation entérique et les intrants et consommation d'énergie via la combustion. Des différences significatives ne sont pas remarquées entre les types au sein des postes « bétail » et « intrants et consommation d'énergie » (Figure 39).

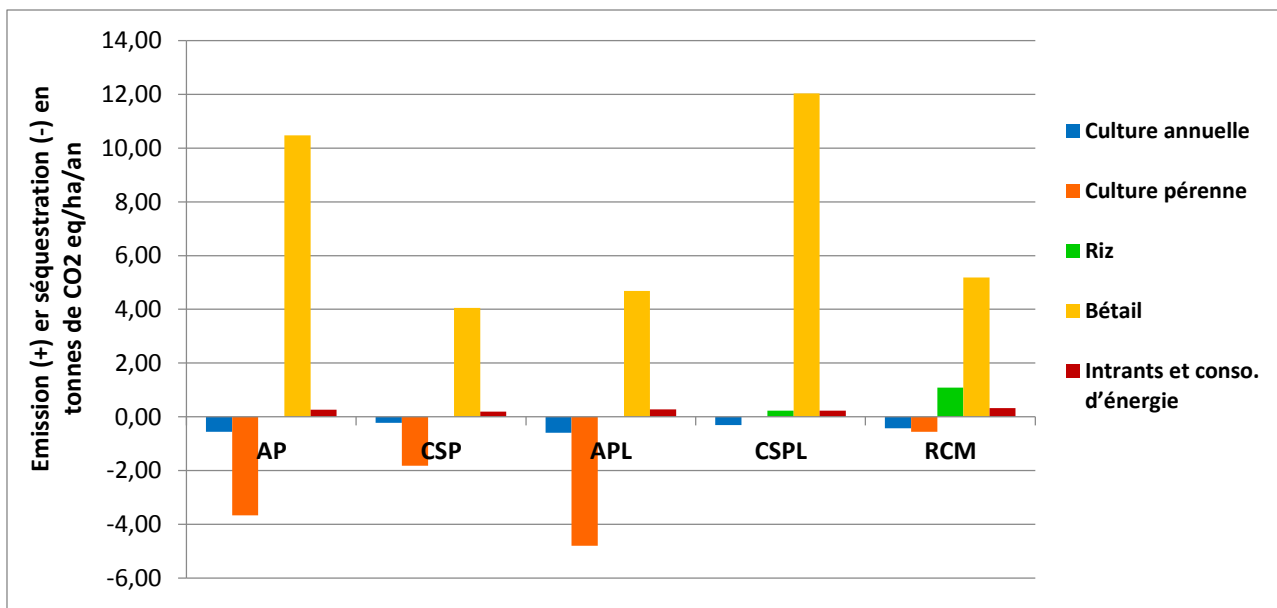


Figure 39 : Empreinte carbone par poste pour les 5 types d'exploitations agricoles étudiées (AP : Agroforesterie en pente, CSP : Culture sarclé en pente, APL : Agroforesterie en plaine exondée, CSPL : Cultures Sarclées sauf riz en Plaine Exondée, RCM : Riz/Canne en dépression marécageuse)

Empreinte ou bilan carbone par type de Gaz à Effet de Serre (GES)

Le dioxyde de carbone (CO₂), le protoxyde d'azote (N₂O) et le méthane (CH₄) constituent les GES recensés au sein des exploitations agricoles. Le méthane et le protoxyde d'azote sont émis essentiellement par la fermentation entérique des animaux. L'émission de dioxyde de carbone (Autre CO₂) est réalisée à travers la combustion des ressources énergétiques (charbon de bois, bois de chauffe, carburants). Il n'y a pas eu de différences significatives entre les 5 types d'exploitations agricoles étudiées au regard de ces 3 types de GES émis. En revanche, le dioxyde de carbone peut être séquestré à travers les espèces ligneuses (CO₂ de la biomasse) et les pratiques agroécologiques (CO₂ du sol) (Figure 40).

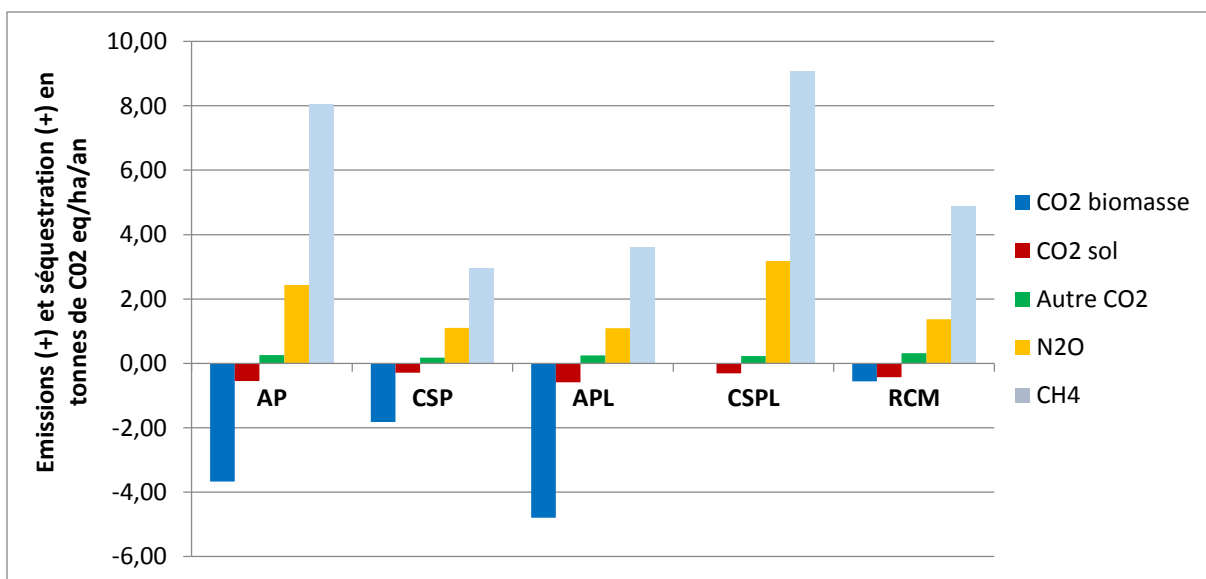


Figure 40 : Empreinte ou bilan carbone par type de Gaz à Effet de Serre (GES) (AP : Agroforesterie en pente, CSP : Culture sarclé en pente, APL : Agroforesterie en plaine exondée, CSPL : Cultures Sarclées sauf riz en Plaine Exondée, RCM : Riz/Canne en dépression marécageuse)

Empreinte ou bilan carbone des exploitations agricoles

Les exploitations agricoles sont généralement réparties sur de petites Surfaces Agricoles Utiles (SAU) comprises entre 0.3 et 1 ha. Cette exigüité de la SAU tend à élever le bilan carbone lorsqu'on ramène les valeurs totales à l'hectare. Les SAU moyennes des 5 types d'exploitation agricole ne sont pas significativement différentes. Ceci est aussi valable pour leurs bilans carbonés totaux. Les EA de type IV « Cultures Sarclées sauf riz en Plaine Exondée » (CSPL) a une plus grande empreinte carbone. À l'exception des exploitations de type III « Agroforesterie en Plaine Exondée » (APL), les exploitations agricoles de tous les autres types sont globalement émettrices de GES (Figure 41).

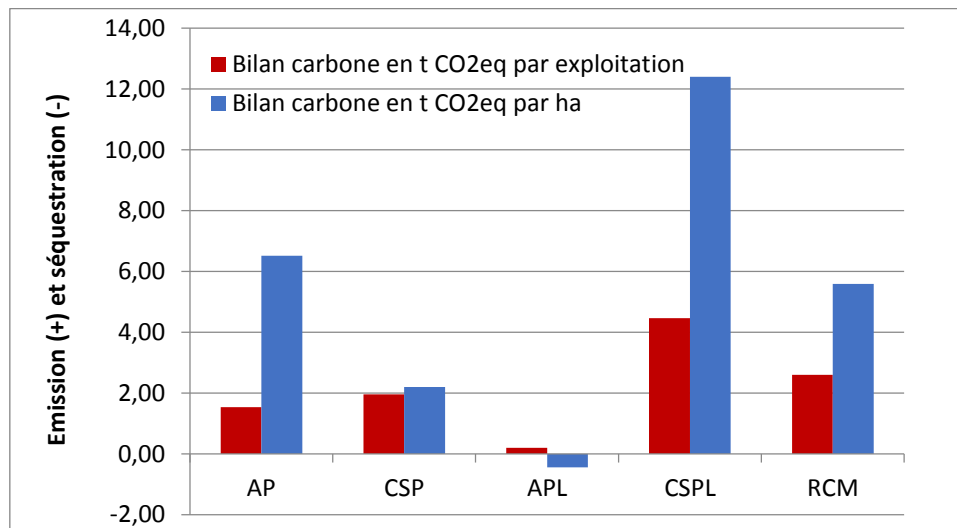


Figure 41 : Empreinte ou bilan carbone des exploitations agricoles. (AP : Agroforesterie en pente, CSP : Culture sarclée en pente, APL : Agroforesterie en plaine exondée, CSPL : Cultures Sarclées sauf riz en Plaine Exondée, RCM : Riz/Canne en dépression marécageuse)

6.4. Conclusion de l'étude

En moyenne, les exploitations agricoles traditionnelles du bassin versant de Limbé présentent une empreinte carbone de l'ordre de 5.25 t eqCO₂/ha. Ce résultat est fortement influencé par le bétail (7.29 t eqCO₂/ha) qui émet d'importants gaz à effet de serre (GES), dont le méthane (5.73 t eqCO₂/ha), dans l'atmosphère. Ce GES est plus émetteur que le dioxyde carbone car son potentiel de réchauffement global (PRG) est vingt-cinq (25) fois plus élevé que celui du gaz de référence (CO₂). Cette valeur moyenne de l'empreinte carbone des EA traditionnelles au sein du bassin versant de Limbé est autour de celle obtenue pour les exploitations conventionnelles à Madagascar, soit 5.33 t eqCO₂/ha (Rakotavao, 2011).

Les empreintes carbonées de chacun des types d'exploitation agricole issue de la typologie adoptée dans cette étude sont : 6.52 t eqCO₂/ha (Agroforesterie en Pente), 2.20 t eqCO₂/ha (Cultures Sarclées sauf riz en Pente), -0.44 t eqCO₂/ha (Agroforesterie en Plaine Exondée), 12.40 t eqCO₂/ha (Cultures Sarclées sauf riz en Plaine Exondée) et 5.59 t eqCO₂/ha (Riz/Canne en Dépression Marécageuses).

Cette étude a permis d'établir quelques recommandations : (1) Planter sur les parcelles des EA davantage d'espèces ligneuses car celles-ci représentent d'excellents postes de séquestration de carbone ; (2) Encourager les exploitations à opter pour l'élevage d'animaux moins polluants ; (3) Valoriser les pratiques agroécologiques déjà existantes dans la zone et introduire d'autres pratiques permettant au sol de séquestrer du carbone.

7. Bilan carbone du projet PAD Nord

7.1. Objectifs de l'étude

Le projet propose d'introduire des pratiques de foresterie et d'agroforesterie paysannes dans les systèmes existants pour stabiliser les parcelles de pente et améliorer leur rentabilité à plus long terme (produits forestiers et fruitiers). Il vise à l'aménagement du bassin versant et à la mesure de l'impact environnemental du projet (bilan GES et conservation des ressources naturelles). Ainsi, cette étude a été réalisée pour répondre à l'objectif d'évaluation globale des impacts du projet en termes d'empreinte carbone.

L'objectif de cette étude est **(1) d'étudier et de comparer les outils permettant de calculer l'empreinte carbone du projet, (2) de réaliser une première estimation *ex-ante* de l'impact du projet sur les émissions de GES et la séquestration de carbone, en indiquant leurs effets dans un bilan carbone.**

Cette étude a été réalisée en juillet 2014, par Martial Bernoux de l'IRD (UMR Eco&Sol), Clovis Grinand d'Etc Terra, Nicolas Salaün et Hérauld Museau d'Agrisud-International. Elle a été menée également en coopération avec l'Université d'Etat d'Haïti, et notamment la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire, à Port au Prince. Les méthodologies, les principaux résultats et conclusions sont présentés ici, l'ensemble de l'étude est présenté dans le rapport et est aussi publié sur le site de la FAO¹.

7.2. Dispositif expérimental

7.2.1. Choix de l'outil pour le bilan carbone

Comme énoncé précédemment, il existe plusieurs outils pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et/ou la séquestration de carbone liés aux activités agricoles et forestières. Dans cette étude, le choix entre les différents outils a été fait par l'utilisation du guide de sélection en ligne proposé dans le cadre d'un projet IRD-ADEME-FAO. Ce guide de sélection est destiné à aider les potentiels usagers à sélectionner la calculatrice la plus appropriée pour l'évaluation des gaz à effet de serre (GES) à l'échelle du paysage des activités liées à l'agriculture et la foresterie. La sélection se base sur la finalité recherchée, la région couverte, le champ d'étude et le temps nécessaire et la facilité d'utilisation. Parmi les outils proposés, EX-ACT se distinguait par son champ géographique large, sa simplicité et sa rapidité de mise en œuvre.

7.2.2. Principe de l'analyse à l'échelle projet

Pour rappel, l'outil EX-ACT apporte des estimations *ex-ante* de l'impact des projets de développement agricole et forestier sur les émissions de GES et la séquestration de carbone, indiquant leurs effets dans un bilan carbone. Ce dernier (bilan des sources et des puits) est calculé en comparant deux scénarios : un scénario « sans projet » et un scénario « avec projet ».

EX-ACT adopte une approche par module – chaque « module » décrit une utilisation spécifique du sol – suivant un cadre de travail avec une logique en trois phases :

¹ http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/case_studies/Haiti_EXACT_PAD_Nord.pdf

- description générale du projet (aire géographique, caractéristiques du climat et du sol, durée) ;
- identification des changements d'utilisation du sol et des technologies prévues par composante du projet utilisant des « modules » spécifiques (déforestation, boisement, dégradation des forêts, cultures annuelles/pérennes, riz irrigué, prairie, bétail, intrants, énergie, autres investissements comme la construction de route ou de hangars) ;
- calcul des émissions et du bilan carbone.

7.2.3. Bilan ex-ante du projet

Phase 1 : Liens entre les activités du projet et les module de l'outil EX-ACT

Dans une première étape, les différentes activités proposées par le projet ont été analysé par rapport à leur potentiel impact sur le bilan des GES, à la fois en termes de puits et d'émissions. Cette analyse a été réalisée selon une approche participative entre porteur du projet et spécialistes des bilans carbone lors d'une séance de quelques heures. Au cours de cette approche, les activités du projet sont analysées et catégorisées en fonction des composantes disponibles dans EX-ACT, et les différentes alternatives sont discutées.

Phase 2 : Mise en œuvre du bilan et hypothèses

La deuxième étape consiste à renseigner l'EX-ACT étape par étape. Dans un premier temps, il s'agit de renseigner le contexte du projet, la localisation géographique, le climat dominant, le type principal de sol, et la durée de mise en place du projet.

Par la suite, les autres onglets de l'outil EX-ACT sont abordés à partir des informations collectées et discutées dans la première étape. La saisie des informations nécessite d'émettre un certain nombre d'hypothèses qui se réfère :

- à l'usage de termes pour caractériser les aménagements réalisés
- au calcul de la surface équivalente des agro-forêts
- à l'estimation du pourcentage moyen de mortalité des plants
- au taux de croissance
- au rendement moyen sans projet
- au taux de séquestration de carbone des différentes cultures
- au nombre d'activité lié au transport prévu durant le projet
- à l'impact de l'amélioration des conditions financière des producteurs

La figure suivante résume l'évolution des surfaces dans les deux scénarios : mise en place du projet et ligne de base (option dite « sans projet »).

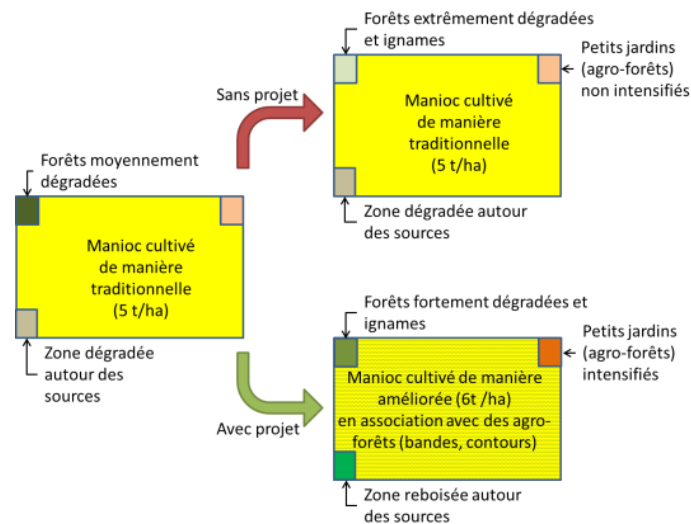


Figure 42: Représentation schématique des options avec et sans projets.

7.3. Résultats principaux

Emissions et séquestration avec et sans projet

Les résultats de l'analyse avec l'outil EX-ACT montrent que la mise en place du projet s'accompagne d'un co-bénéfice environnemental en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et augmentation de la séquestration du carbone (Tableau 8). Si le projet n'avait pas lieu les 400 hectares concernés représenteraient une émission totale de 8022 tCO₂-eq, soit environ 20 tCO₂-eq /ha, mais seulement un puits de 112 tCO₂-eq. Il est à noter que trois quarts des émissions sont dues à l'élevage qui n'est pas directement ciblés par le projet (Figure 43). La mise en place du projet se traduit par une augmentation de 9% des émissions liées à ce secteur suite à l'augmentation des revenus des familles. Toutefois, le bénéfice apporté par le projet est largement supérieur. Au total les estimations pour le scénario avec projet sont des émissions brutes de 7750 tCO₂-eq mais une séquestration brute de 22276 tCO₂ -eq.

Tableau 8: Emissions et séquestrations, exprimés en tCO₂-eq, pour les scénarios sans et avec projet, et la balance net.

Flux brutes	Scénarios		Balance (Avec – Sans)
	Sans projet	Avec projet	
Emissions	8022	7750	-272
Séquestration (puits)	112	-22276	-22164
Total	7910	-14527	-22436

Le bilan environnemental est donc favorable avec une séquestration net de 14527 tCO₂-eq, soit 36,3 tCO₂-eq, qui correspond surtout à une séquestration nette pour les 4 modules liés aux activités de boisement, mise en place des bandes arborées et améliorations des systèmes de cultures à base de manioc. La variation des émissions est moindre en volume (Figure 43).

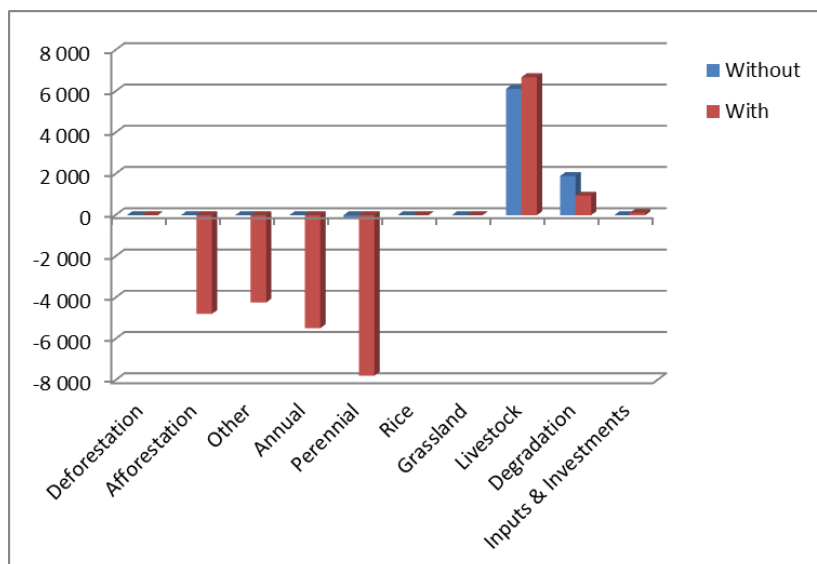


Figure 43 : Emissions et puits, en tonnes de CO₂-eq, en fonction des différents modules d'EX-ACT.

Le bénéfice net de la réalisation du projet, qui correspond à la différence entre le scénario de mise en place du projet et la référence, ou ligne-de-base, sans projet, est de 22437 tCO₂-eq.

En terme de répartition du bénéfice net par activité, l'analyse montre que les postes les plus importants à suivre sont notamment la bonne mise en place des activités liées aux aménagements arborés et à l'amélioration des cultures annuelles (Figure 44). La dégradation forestière contrôlée pour les ignames n'apporte qu'un bénéfice mineur en valeur. Toutefois s'agissant d'émissions évitées, puisque l'on passe d'une émission de 1900 sans projet à 950 tCO₂ eq avec la mise en place du projet, il s'agit d'un bénéfice permanent.

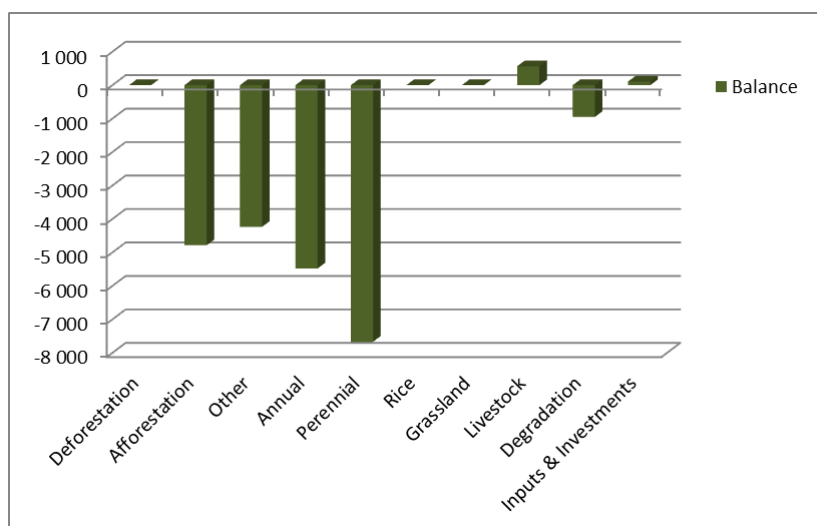


Figure 44 : Balance (option avec moins option sans projet), en tonnes de CO₂-eq, en fonction des différents modules d'EX-ACT.

Incertitude et analyse de sensibilité

Le bilan net de -22437 est accompagné d'une incertitude de 40%. Cette incertitude est basée sur l'utilisation de coefficient de niveau 1 peu précis. Toutefois ce niveau d'incertitude est habituel dans

des estimations ex-ante. Cette incertitude ne doit pas masquer une autre incertitude qui réside dans la réalisation ou pas des activités telles qu'elles sont initialement prévues.

En complément, deux analyses de sensibilité peuvent être réalisées. Une première analyse porte sur les potentiels de réchauffement globaux (PRG) employés. Une deuxième analyse de sensibilité peut être conduite en faisant varier les éléments descriptifs du projet (Climat, régime hydrique et sol) qui conditionnent les coefficients de niveau 1 utilisés dans les calculs.

7.4. Conclusion de l'étude

Cette étude a permis d'obtenir une estimation globale de l'empreinte carbone du projet. Cette première estimation montre que la mise en place du projet, par rapport à une ligne de base sans projet, s'accompagne d'une réduction des émissions et surtout une séquestration de carbone, avec un bilan net de -22 437 tCO₂-eq sur 400 ha sur 20 ans. Rapporté à l'hectare, ce projet correspond à un bénéfice net, par rapport au scénario de référence sans mise en place du projet, de 2,8 tCO₂-eq /ha/an, ce qui constitue une très bonne performance.

8. Conclusion générale

Un des objectifs du projet PAD Nord a été d'évaluer l'empreinte environnementale du projet ou plutôt de l'état de référence environnementale afin de pouvoir évaluer les effets et impacts à moyen et long terme. Un grand nombre des études scientifiques innovantes ont été réalisées dans le cadre de ce projet, souvent pour la première fois dans le pays.

La séquestration de carbone dans le sol étant un phénomène assez long, les effets de la mise en place de pratiques agroécologiques ne sont pas encore visibles, car leur mise en place est récente. Cependant, un état de référence des stocks de carbone dans le sol a pu être mesuré pour les différents systèmes de culture étudiés dans la zone d'étude et les facteurs influençant la variabilité ont pu être analysés.

L'étude sur la séquestration du carbone dans la biomasse aérienne a permis d'estimer les coefficients de séquestration de carbone et de comprendre les dynamiques de séquestration des espèces ligneuses les plus répandues sur les parcelles des exploitations agricoles, alimentant ainsi les connaissances sur l'empreinte carbone des exploitations.

Le dispositif de suivi de la ressource en eau a fourni des valeurs de référence de la pluviométrie de la zone d'étude, du débit d'une source et de la hauteur piézométrique. Les équipes se sont dotées de matériels et ont pu se former à la prise de mesures.

La densité et de la biomasse lombricienne est un indicateur reconnu de la qualité des sols, qui a la particularité de réagir très vite aux changements de pratiques agricoles. Nous avons pu voir dans notre étude à un pas de temps assez court, que le changement de pratiques des producteurs vers des pratiques agroécologiques ont des effets positifs sur le fonctionnement biologique du sol.

L'étude de l'empreinte carbone des exploitations a pour intérêt principale de fournir une première analyse à l'échelle du BV de Limbé et de donner des valeurs de référence pour les différents postes d'émission et de séquestration de GES, permettant ainsi d'établir des recommandations pour l'amélioration de l'empreinte carbone des exploitations.

L'étude de l'empreinte carbone du projet a permis d'obtenir une estimation globale au niveau du projet. Il s'agit d'une étude pionnière à Haïti. Elle a montré que la mise en place du projet s'accompagne d'un co-bénéfice environnemental en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'augmentation de la séquestration du carbone.

Ces études fournissent des éléments indispensables pour accroître les connaissances sur les ressources naturelles du bassin-versant de Limbé et permette leur meilleure gestion. Cependant au terme des études, pour certaines notamment le suivi de la ressource en eau et du carbone organique du sol, il est difficile de conclure sur les effets des changements des pratiques agricoles induit par les appuis du projet, en raison du temps de réponse de ces indicateurs qui peut être long.

En termes de perspectives, il pourrait donc être intéressant de reproduire ces études dans quelques années pour permettre une meilleure détection de l'effet des aménagements. De plus, l'étude de l'empreinte carbone pourrait être appliquée à l'échelle des unités d'aménagements locaux pour permettre d'engager une réflexion avec les acteurs et les pouvoirs publics sur les bénéfices potentiels de projet de développement en termes d'impact environnemental.

9. Bibliographie

- Bernoux M., Branca G., Carro A., Lipper L., Smith G., Bockel L., 2010. Ex-ante greenhouse gas balance of agriculture and forestry development programs. *Scientia Agricola*. 67, 1, 31-40.
- BME, Bureau des Mines et de l'Environnement, 2005. Carte Géologique d'Haiti au 1/250 000ème. La version originale a été rédigée par le Dr en Géologie Dominique Boisson en juillet 1993. Elle a été révisée par les Géologues Claude Prepetit et Wilfrid Saint Jean en mai 2005.
- Brown S., 2002. Measuring Carbon in Forest current status and future challenges, *environment pollution*, 116p.
- Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Fölster H., Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.-P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riéra B., Yamakura T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145 (1), pp. 87-99.
- Colomb V., Touchemoulin O., Bockel L., Chotte J.L., Martin S., Tinlot M., Bernoux M., 2013. Selection of appropriate calculators for landscape-scale greenhouse gas assessment for agriculture and forestry. *Environmental Research Letters*, 8, 015029
- Etc Terra. GRINAND C., 2013. Mission lancement officiel du Projet d'Aménagement Durable bassin versant de Limbé, Nord Haïti (PAD Nord). Cap-Haïtien, Haïti, 35 p.
- FAO, 2014. Appendix 1 - List of wood densities for tree species from tropical America, Africa, and Asia. Rome, Italie, 3 p.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Eggleston, H., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. Editeurs), The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- MNT ASTER GDEM. <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html>, consulté via la plateforme EARTH EXPLORER : <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Cluzeau D., Cannavacciuolo M. et Pérès G., 1999 - Indicateurs microbiologiques des sols : les lombriciens – Méthode d'échantillonnage dans les agrosystèmes en zone tempérée. In 12^{ème} Colloque Viticole et Oenologique Ed. ITV Paris : pp. 25-35.
- Pérès, G., F. Vandenbulcke, M. Guernion et al., 2011. The use of earthworms as tool for soil monitoring, characterization and risk assessment. Example of a Bioindicator Programme developed at National scale (France). *Pedobiologia* 54, 77–87.
- Rakotovao H., N., 2011. Empreinte carbone de différents types d'exploitation agricole basés sur des pratiques agroécologiques, région Itasy. Madagascar, mémoire d'Ingénieur-Agronome, Université d'Antananarivo, École des Sciences Agronomiques, 108 p.
- Wiedmann T., et Minx J., 2007. A definition of Carbon Footprint. ISA Research report, 11 p.
- Worldclim. Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. and Jarvis A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978. <http://www.worldclim.org>.

Annexes

ANNEXE 1 : Matrice d'indicateurs environnementaux

Indicateurs environnementaux				Déploiement dans le cadre du projet			
Thème	Indicateur	Unité(s)	Hypothèse (ou objectif)	Type de mesure/calendrier	Ressources humaines	Dispositif / Protocole expérimental	Mesure et collecte de données terrain
GES	Stock et flux de GES exploitation	tCO2eq/ha/an	Les exploitations appuyées par le projet ont une empreinte carbone plus faible que les exploitations non touchées par le projet	Etude ponctuelle (2014)	1 étudiant UEV-FAMV, aidé par un étudiant en stage Fac d'agro du Cap, accompagné par l'équipe projet (encadrement et logistique)	Bibliographie carbone biomasse et sol Haïti, Typologie d'exploitation, Sélection d'un échantillon de 30 exploitations sur 8 UAL, Enquête auprès des exploitants, délimitation parcellaire, inventaire forestier, remplissage BDD, Application et adaptation du calculateur Ex ACT, Analyses des résultats.	Enquête exploitation - Délimitation parcellaire Inventaire forestier
	Séquestration du carbone dans le sol	tCO2eq/ha/an	Certaines pratiques mises en œuvre par les producteurs permettent d'augmenter la quantité de matière organique (= carbone) contenu dans le sol	Pré-étude (2014) puis étude ponctuelle (2015)	1 étudiant UEV-FAMV, aidé par un étudiant en stage Fac d'agro du Cap, accompagné par l'équipe projet (encadrement et logistique)	Inventaire carbone sol (sondage à la tarière, fosse pédologique, prélèvement échantillon composite, mesure in situ de la densité apparente, dosage du carbone organique,)	Prélèvement d'échantillons de sol Dosage du carbone organique dans le sol Mesure de densités du sol
	Séquestration du carbone dans la biomasse	tCO2eq/ha/an	Les plantations d'arbres permettent de stocker une quantité importante de carbone dans le bois	Pré-étude (2014) au moment de l'étude empreinte carbone puis étude ponctuelle complémentaire (2016) si besoin	1 étudiant UEV-FAMV, aidé par un étudiant en stage Fac d'agro du Cap, accompagné par l'équipe projet (encadrement et logistique)	Inventaire carbone biomasse (nb arbre, espèce, hauteur, diamètre, densité, classes d'âge)	Nombre d'arbres Diamètre à Hauteur de Poitrine Hauteur des arbres Estimation des classes d'âge
	Bilan GES du projet	tCO2eq/ha/an	Objectif : L'impact climat de l'ensemble des réalisations du projet PAD Nord est estimé	Pré-étude (2014) et une actualisation des calculs à partir des données de réalisation du projet (2016)	Une mission de chercheur (Martial Bernoux, IRD) pour la formation et la pré-étude, Equipe projet pour l'actualisation du calculateur	Application et adaptation du calculateur Ex-Act, remplissage des données projets REELLES dans le calculateur	Estimation du taux de mortalité des plants
SOL	Fertilité	g.g de sol	Certaines pratiques mises en œuvre par les producteurs permettent d'améliorer la fertilité du sol (matière organique, rapport C/N, disponibilité des cations assimilables Na, K, Mg, Ca, etc.)	Pré-étude ponctuelle (2014) et étude ponctuelle (2015) en même temps que l'étude séquestration C dans le sol	Même RH que pré-étude (2014) et étude ponctuelle (2015) séquestration C dans le sol	Même dispositif que pré-étude (2014) et étude ponctuelle (2015) séquestration C dans le sol	Même dispositif que pré-étude (2014) et étude ponctuelle (2015) séquestration C dans le sol
	Activité biologique du sol	nombre de vers/ha et tonnes vers/ha	Certaines pratiques mises en œuvre par les producteurs permettent d'augmenter la densité et la biomasse lombricienne du sol qui est un indicateur révélateur des états et usages des sols.	Début / Fin de projet	1 étudiant de l'UCNH de Limbé accompagné par l'équipe projet (encadrement et logistique)	Prélèvements directs de vers de terre sur placettes (méthode Cluzeau) sur 3 UAL différentes. 8 mesures x 3 répétitions = 24 placettes. Comparaison de 5 systèmes différents	Nomdre et poids des vers de terre sur placette 1m2
EAU	Quantité de l'eau	millimètre d'eau de pluie, litres par seconde, hauteur en mètre	Certaines pratiques mises en œuvre par les producteurs permettent d'augmenter l'infiltration de l'eau sur le versant et d'augmenter la ressource en eau aval disponible (puits, source captées, irrigation)	Mesure continue	Equipe projet	Identification du BV pilote pour la mesure d'eau. Compréhension du régime de la ressource en eau et de l'impact prévisible de l'aménagement. Mise en place d'un dispositif de mesures des paramètres hydrologiques. SUIVI / MESURES: pluviométrie via 2 pluviomètres à lecture directe (relevés quotidiens) et 1 pluviomètre à enregistrement automatique Suivi de débits de source et hauteur piézométrique (1 relevé mensuel). Dépouillement des chroniques annuelles de mesures. Evaluation des tendances.	Pluviométrie à Peltan Débits source Hauteur piézométrique
BIODIV	Agro-diversité forestière et culturale	nombre d'espèce et quantité	Les aménagements de parcelle mis en œuvre par les producteurs augmentent de manière importante la diversité des espèces d'arbres (fruitiers et forestiers) et apporte une diversification des espèces cultivées	Début / Fin de projet	Equipe projet	pas de dispositif particulier	Pas de mesure particulière

