



HAL
open science

Modélisation de systèmes de productions agricoles en vue de leur adaptation au changement climatique : cas de la commune de Saint Michel de l'Attalaye, Haïti

Justafort Jules

► To cite this version:

Justafort Jules. Modélisation de systèmes de productions agricoles en vue de leur adaptation au changement climatique : cas de la commune de Saint Michel de l'Attalaye, Haïti. *Agronomie*. 2022. dumas-04051020

HAL Id: dumas-04051020

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04051020>

Submitted on 29 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master 2 en sciences et technologie de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement (3A) de l'Institut Agro Montpellier.

Parcours : ressources, systèmes agricoles et développement (RESAD 2021-2022)

Modélisation de systèmes de productions agricoles en vue de leur adaptation au changement climatique :
Cas de la commune de Saint Michel de l'Attalaye, Haïti



par : **Justafort JULES**

Année de soutenance : 2022

Organisme d'accueil : Université Quisqueya / Chibas / CIRAD

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master 2 en sciences et technologie de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement (3A) de l'Institut Agro Montpellier.

Parcours : ressources, systèmes agricoles et développement (RESAD 2021-2022)

Modélisation de systèmes de productions agricoles en vue de leur adaptation au changement climatique : Cas de la commune de Saint Michel de l'Attalaye, Haïti



par : **Justafort JULES**

Année de soutenance : 2022

Mémoire préparé sous la direction
de : **Marie-Jeanne VALONY**

Organisme d'accueil :
Université Quisqueya / Chibas / CIRAD

Présenté le : 02/11/2022

devant le jury :

Isabelle MICHEL

Marie-Jeanne VALONY

Nadine ANDRIEU

Bénédictique PAUL

**Maîtres de stage : Nadine ANDRIEU (CIRAD)
Bénédictique PAUL (Chibas)**

RÉSUMÉ

Le Projet "*Sen Michel pa pè lesèk*" exécuté par le consortium Université Quisqueya/Chibas/CIRAD dans la commune de Saint-Michel de l'Attalaye fait partie du programme de mitigation des désastres naturels (PMDN II) mis en œuvre par le Ministère de l'Agriculture, des ressources naturelles et du développement rural (MARNDR) afin de renforcer la résilience et l'adaptabilité des systèmes de productions agricoles de cette commune face au changement climatique. Ce travail de recherche vise à comprendre les performances actuelles des exploitations agricoles de Saint Michel de l'Attalaye en termes d'adaptation et mal-adaptation et de concevoir avec les producteurs des scénarios d'adaptation au changement climatique à l'aide de la modélisation. La méthode repose sur : (i) la réalisation d'un diagnostic au niveau de 24 exploitations agricoles, (ii) la rencontre d'un groupe de neuf agriculteurs afin de co-concevoir des scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances technico-économiques de leurs exploitations agricoles. Les résultats de l'étude montrent que les interactions entre parcelles, troupeau et ateliers de transformation sont fortes à Saint Michel de l'Attalaye. La diversification des systèmes de production agricole joue un rôle crucial dans la consommation alimentaire des ménages agricoles.

En termes d'adaptation, d'une part, les systèmes de productions agricoles de Saint Michel de l'Attalaye sont sur la voie d'adaptation au changement climatique. Mais d'autre part, certaines exploitations agricoles sont mal-adaptées des points de vue économique et environnemental.

MOTS CLÉS : Co-conception, Adaptation au changement climatique, Modélisation, Saint Michel de l'Attalaye, Scénarios d'amélioration.

Pour citer ce document :

Jules, Justafort, 2022. Modélisation de systèmes de production agricole en vue d'une adaptation au changement climatique : Cas de la commune de Saint Michel de l'Attalaye, Haïti. Mémoire Master 2, parcours : ressources, systèmes agricoles et développement (RESAD), L'Institut Agro Montpellier. 66 p.

ABSTRACT

The "*Sen Michel pa pè lesèk*" project carried out by the Quisqueya University/Chibas/CIRAD consortium in the commune of Saint-Michel de l'Attalaye is part of the natural disaster mitigation program (PMDN II) implemented by the Ministry of Agriculture, Natural Resources and Rural Development (MARNDR) in order to strengthen the resilience and adaptability of the agricultural production systems of this municipality in the face of climate change. This research work aims to understand the current performance of farms in Saint Michel de l'Attalaye in terms of adaptation and mal-adaptation and to design with producers scenarios for adaptation to climate change using modeling. The method is based on: carrying out a diagnosis at the level of 24 farms, (ii) meeting a group of nine farmers in order to co-design scenarios for improving the operation and technical and economic performance of their agricultural exploitations. The results of the study show that the interactions between plots, herd and processing workshops are strong in Saint Michel de l'Attalaye. The diversification of agricultural production systems plays a crucial role in the food consumption of agricultural households.

In terms of adaptation, on the one hand, the agricultural production systems of Saint Michel de l'Attalaye are on the way to adapting to climate change. But on the other hand, some farms are poorly adapted from an economic and environmental point of view.

KEYWORDS : Co-design, Adaptation to climate change, Modeling, Saint Michel de l'Attalaye, Improvement scenarios.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail de recherche.

Mes sincères remerciements d'adressent particulièrement à Mme Nadine ANDRIEU et Mr Bénédict PAUL (mes Maitres de Stage) et à Mme Marie-Jeanne VALONY (ma Directrice de Mémoire) pour leur rôle à merveille en se rendant disponible tout au long du stage. Merci pour votre patience, les conseils, les remarques et les relectures.

Ma gratitude est exprimée envers tout le personnel administratif et le staff d'enseignants de la formation RESAD de l'Institut Agro Montpellier, particulièrement Mme Elisabeth RASSE-MERCAT et Mme Isabelle MICHEL. Ma gratitude est aussi exprimée envers tous les personnels du CIRAD qui travaillent dans le PMDN et à tous les personnels du CHIBAS, particulièrement Mr Gaël PRESSOIR (Directeur CHIBAS et doyen de la FSAE de l'université Quisqueya).

A tous ceux et celles, d'une façon ou d'une autre, qui m'ont soutenu à la réalisation de ce travail de recherche, et dont leur nom ne figure pas ci-dessus, je vous adresse mes sincères reconnaissances.

Mille mercis à mon père et ma mère, sans qui je n'en serai pas là aujourd'hui.

Je remercie tous les agriculteurs de Saint Michel de l'Attalaye que j'ai rencontrés durant le stage. Merci pour vos participations, votre accueil, votre gentillesse et les échanges passionnants que nous avons pu avoir ensemble.

Table des matières

RÉSUMÉ	3
ABSTRACT.....	4
REMERCIEMENTS	5
Table des matières	6
Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	8
Liste des annexes.....	8
SIGLES et ACRONYMES.....	9
INTRODUCTION	10
1. CADRE DE L'ÉTUDE	12
1.1-Contexte institutionnel	12
1.2- Les EA en Haïti.....	12
2. REVUE DE LITTÉRATURE.....	14
2.1- Adaptation de l'agriculture haïtienne au changement climatique	14
2.1.1- Adaptation au changement climatique.....	14
2.1.2- Approches de vulnérabilité du secteur agricole haïtien	17
2.1.3- Options d'adaptation au changement climatique mobilisées en Haïti	18
2.2- Accompagner le changement par la co-conception de scénarios	20
2.3- L'outil de « modélisation », qu'est-ce que c'est ?	23
3. PROBLÉMATIQUE.....	26
3.1- Questions de recherche	26
3.2- Hypothèses associées aux questions de recherche	26
4. MATÉRIELS ET MÉTHODES	27
4.1- La zone d'étude	27
4.1.1-Délimitation territoriale et organisation administrative	27
4.1.2- Climat.....	28
4.1.3- Réseau hydrographique	28
4.1.4- Zonage agroécologique.....	29
4.1.5- Topographie.....	31
4.2- L'agriculture de Saint Michel de l'Attalaye.....	31
4.3- Démarche méthodologique	33
4.3.1- L'outil de modélisation	33
4.3.2- Diagnostic des performances technico-économiques	35
4.3.3- Co-conception des scénarios et focus groupe.....	39
4.4- Chronogramme d'activités.....	40
5. RÉSULTATS.....	41
5.1- Fonctionnement des exploitations agricoles de Saint Michel de l'Attalaye	41
5.1.1- Organisation du travail sur les EA	42
5.1.2- Calendrier culturel.....	43
5.1.3- Interactions au niveau de l'EA	44

5.2- Performances technico-économiques des exploitations agricoles	47
5.2.1- Biomasse produite à l'hectare et efficacité azotée au niveau des systèmes de culture (SC).....	47
5.2.2- Émission de dioxyde de carbone équivalent par an (CO ₂ -éq an ⁻¹).....	47
5.2.3- Recouvrement des besoins des ménages (RecBesM) en calories	48
5.2.4- Productivité de la terre et valeur ajoutée nette par hectare (VAN / ha)	48
5.2.5- Revenu agricole et valorisation de la journée de travail	49
5.3- Scénarios conçus par les agriculteurs	50
5.3.1- Biomasse produite et efficacité azotée	52
5.3.2- Émission de dioxyde de carbone équivalent par an (CO ₂ -éq an ⁻¹).....	53
5.3.3- Recouvrement des besoins des ménages (RecBesM) en calories	54
5.3.4- Productivité de la terre, valeur ajoutée nette par hectare, revenu agricole et valorisation de la journée de travail	55
6. DISCUSSIONS	56
6.1- Quel est l'état des lieux des performances technico-économiques des exploitations agricoles de Saint Michel de l'Attalaye ?	56
6.2- Quels scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles à co-concevoir entre les types ?.....	58
6.3- Les systèmes de culture et/ou d'élevage de Saint Michel de l'Attalaye, sont-ils tous sur la voie d'adaptation au changement climatique ?	58
CONCLUSION	60
BIBLIOGRAPHIE	61
ANNEXES.....	1

Liste des figures

Figure 1: Température moyenne projetée	17
Figure 2: Pluviométrie moyenne projetée	17
Figure 3: Carte de la commune de Saint Michel de l'Attalaye et les zones d'intervention du PMDN	27
Figure 4: Diagramme ombrothermique de Saint Michel de l'Attalaye.....	28
Figure 5: Réseau hydrographique de Saint Michel de l'Attalaye	29
Figure 6: Zonage agroécologique.....	29
Figure 7: Transect parcouru du Nord au Sud	30
Figure 8: Transect parcouru de l'Est à l'Ouest.....	30
Figure 9: Classe des pentes de la commune de Saint Michel de l'Attalaye	31
Figure 10: Cartographie des EA enquêtées	36
Figure 11: Chaîne d'acquisition et de traitement des données.....	38
Figure 12 : Organisation du travail sur l'année par SC.....	43
Figure 13: Interaction entre les composantes des EA.....	44
Figure 14: Répartition moyenne de la production de biomasse par ha	47
Figure 15: Répartition moyenne de l'efficacité azotée.....	47
Figure 16: Répartition moyenne de l'émission de CO ₂ -éq par type	48
Figure 17: Répartition moyenne du taux de RecBesM par type	48
Figure 18: Répartition moyenne de la productivité de la terre	49
Figure 19: Répartition moyenne de la VAN / ha	49
Figure 20: Répartition moyenne du revenu agricole par type.....	49
Figure 21: Répartition moyenne de la valorisation de la journée de travail	50
Figure 22: Évolution de la production de biomasse entre les deux scénarios.....	53

Figure 23: Évolution de l'efficacité azotée entre les deux scénarios	53
Figure 24: Évolution de l'émission de CO ₂ -éq entre les deux scénarios.....	54
Figure 25: Évolution du taux de RecBesM entre les deux scénarios	54
Figure 26: Évolution de la productivité de la terre entre les deux scénarios	55
Figure 27: Évolution de la VAN / ha entre les deux scénarios.....	55
Figure 28: Évolution de la valorisation de la journée de travail entre les deux scénarios	55
Figure 29: Évolution du revenu agricole entre les deux scénarios	55

Liste des tableaux

Tableau 1: Chronogramme d'activités	40
Tableau 2: Récapitulatif des 24 EA enquêtées.....	41
Tableau 3: ANOVA de la production de biomasse par ha	47
Tableau 4: ANOVA de l'efficacité azotée.....	47
Tableau 5: ANOVA de l'émission de CO ₂ -éq	48
Tableau 6: ANOVA RecBesM.....	48
Tableau 7: ANOVA de la productivité de la terre	49
Tableau 8: ANOVA VAN / ha.....	49
Tableau 9: ANOVA revenu agricole.....	49
Tableau 10: ANOVA valorisation de la journée de travail.....	50
Tableau 11: Comparaison des deux scénarios	51
Tableau 12: Scénarios conçus par les agriculteurs	52

Liste des annexes

Annexe 1: Quelques projets réalisés durant ces dernières années en Haïti en lien avec l'adaptation au changement climatique	1
Annexe 2: Comparaison de l'agriculture à l'époque des parents des agriculteurs avec l'agriculture de maintenant à Saint Michel de l'Attalaye	0
Annexe 3: Fiche d'enquête diagnostic	2
Annexe 4: Guide d'entretien co-conception	11
Annexe 5: Les deux indicateurs clés restitués aux agriculteurs	13
Annexe 6: Bilan d'une EA	0
Annexe 7: Équivalence en kg des unités de récolte déclarées par les agriculteurs	1
Annexe 8: Test d'homogénéité et d'élasticité des ANOVA présentées	2
Annexe 9: Noms scientifiques des espèces de cultures et d'animaux.....	3

SIGLES et ACRONYMES

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ANOVA : Analyse de variance
CCNUC : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
Chibas : Centre Haïtien d'Innovation sur les Biotechnologies et l'Agriculture Soutenable
CI : Consommation intermédiaire
CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
EA : Exploitation agricole
FAMV : Faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FSAE : Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Environnement
GIEC : Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat
GRET : Groupe de recherche et d'échanges technologiques
HTG : Gourde Haïtienne
IHSI : Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
IRC : Institut des Régions Chaudes
M2 : Master 2
MARNDR : Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural
MDE : Ministère de l'environnement
MEF : Ministère de l'Économie et des Finances
MPCE : Ministère de la Planification et de la Coopération Externe
MTE : Ministère de la transition énergétique (France)
MTECT : Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires (France)
ODD2 : Deuxième objectif du développement durable
ONU : Organisation des Nations Unies
OXFAM : Oxford Committee for Famine Relief
PANA : Plan d'Action Nationale d'Adaptation
PIB : Produit intérieur brut
PMDN : Programme de Mitigation des Désastres Naturels
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
PRG : Pouvoir de réchauffement global
RecBesM : Recouvrement des besoins du ménage
RESAD : Ressources, Systèmes Agricoles et Développement
SAU : Surface agricole utile
SC : Système de culture
SE : Système d'élevage
TDR : Terme De Références
UniQ : Université Quisqueya
USD : Dollar Américain
VAB : Valeur ajoutée brute
VAN : Valeur ajoutée nette
WP : Work Packages

INTRODUCTION

Les changements climatiques sont définis comme « *des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables* » (ONU, 1992). Se traduisant par une hausse globale de la température moyenne de l'atmosphère, ce phénomène est dû aux effets des gaz à effet de serre. Ces gaz font partie des constituants de l'atmosphère et sont d'origine naturelle ou anthropique (GIEC, 2018). Le climat est en train de changer partout dans le monde et plus rapidement que prévu. Même en limitant le réchauffement climatique, les catastrophes naturelles devraient se multiplier. Les preuves de l'augmentation de l'occurrence des phénomènes climatiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les fortes précipitations, les sécheresses et les cyclones tropicaux, se sont renforcées. La température à la surface du globe continuera d'augmenter au moins jusqu'au milieu du siècle dans tous les scénarios d'émissions considérés. Le réchauffement global de 1,5°C et 2°C sera dépassé au cours du XXI^{ème} siècle, à moins qu'une réduction importante des émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre n'intervienne dans les prochaines décennies (IPCC, 2021).

L'agriculture est l'une des activités humaines les plus dépendantes du climat. Elle est affectée par le changement climatique, sans oublier sa contribution dans les émissions de gaz à effet de serre (Torquebiau, 2017). Les défis de l'agriculture et des systèmes alimentaires mondiaux sont nombreux et le deviennent encore plus avec le changement climatique. C'est pourquoi, dans le deuxième objectif du développement durable (ODD2) des Nations Unies, les marches à suivre envisagées visent à « éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir une agriculture durable » (FAO, 2015).

D'ici 2050, les bouches à nourrir devraient atteindre la barre de 10 milliards de personnes dans le monde (FAO, 2016). Tandis que le niveau mondial de la prévalence de la sous-alimentation a fortement augmenté. Près de 10% de la population mondiale (environ 770 millions de personnes) souffrent encore de la faim en 2020 (FAO, 2021). Dans l'objectif de satisfaire les besoins alimentaires des populations, des progrès significatifs ont été accomplis dans les systèmes agricoles et alimentaires mondiaux (FAO, 2018). Parallèlement, les résultats de nombreuses études menées dans diverses régions du monde montrent que les incidences négatives du changement climatique sur l'agriculture sont significatives (GIEC, 2014a). Ces impacts néfastes sont accompagnés de pertes et de dommages considérables (OXFAM, 2022).

Il existe quatre canaux suivants lesquels le changement climatique affecte la capacité productive des écosystèmes : (i) *l'augmentation moyenne des températures*, (ii) *les changements de fréquence, d'intensité, d'amplitude spatiale et temporelle des événements météorologiques et climatiques extrêmes*, (iii) *la modification des cycles biogéochimiques (augmentation des concentrations en CO₂ et O₃)* et (iv) *les pertes dues aux ravageurs, maladies et mauvaises herbes (bien que l'interaction entre le*

changement climatique et l'effet des ravageurs, maladies et mauvaises herbes serait peu étayé scientifiquement). L'augmentation des températures contribue au stress hydrique par le fait qu'elle augmente la demande en eau nécessaire à l'assimilation du carbone et accroît donc l'évapotranspiration (Brunelle, 2015).

La production animale serait aussi affectée par le changement climatique via trois canaux : (i) le rendement de l'herbe et des fourrages, (ii) l'effet de la chaleur sur les animaux et leurs performances et (iii) le stress hydrique. L'effet de la chaleur sur les animaux provoquant le stress thermique est un facteur limitant pour la sélection de races exprimant de meilleures performances zootechniques (*Ibid.*).

Depuis plusieurs décennies, Haïti fait face à de sérieux problèmes de dégradations environnementales (Smolikowski, 1993) impactant (Fleurant, 2020). Les statistiques de la Banque Mondiale estiment que la prévalence de la sous-alimentation en Haïti couvre près de la moitié de la population (47,2%) en 2020 (Banque Mondiale, 2021). Donc, les systèmes agricoles en Haïti se situent face à un grand défi, celui de faire face à la crise alimentaire qui sévit le pays, tout en essayant de faire face au changement climatique.

À Saint Michel de l'Attalaye, les agriculteurs mobilisent des stratégies d'adaptation au changement climatique afin d'améliorer la performance de leurs exploitations agricoles (Paul et al., 2021).

L'objectif général poursuivi dans cette étude consistait à « co-concevoir des scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances technico-économiques des exploitations agricoles (EA) à Saint Michel de l'Attalaye ».

Les objectifs spécifiques concourant à l'atteinte de l'objectif général consistaient à :

- Comprendre les performances actuelles des EA de Saint Michel de l'Attalaye en termes d'adaptation et mal-adaptation ;
- Concevoir avec les producteurs des scénarios d'adaptation au changement climatique à l'aide de la modélisation.

Le mémoire est divisé en six chapitres. Le premier chapitre présente le contexte de l'étude. Le deuxième chapitre est consacré à une revue de littérature. Le troisième chapitre présente les questions de recherche et les hypothèses associées. Le quatrième chapitre présente les matériels et méthodes. Le cinquième chapitre présente les résultats obtenus, puis les discussions sont présentées dans le chapitre 6.

1. CADRE DE L'ÉTUDE

1.1-Contexte institutionnel

Depuis plusieurs années, le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR) en Haïti mène des programmes/projets de recherche agronomique afin de renforcer la résilience des exploitations agricoles face aux contraintes climatiques. Parmi eux, il y a le programme de mitigation des désastres naturels (PMDN II) que le consortium Université Quisqueya/Chibas/CIRAD exécute dans la commune de Saint-Michel de l'Attalaye. Le plan de travail de ce programme de recherche-action est réparti sur plusieurs Work Packages (WP) :

WP1 : Diagnostic agraire (ou socio-agro-technico-économique) et prospectif ;

WP2 : Co-conception de scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles ;

WP3 : Innovations variétales et des systèmes de culture pour améliorer la résilience aux risques climatiques ;

WP4 : Innovations pour améliorer la résilience de l'élevage aux risques climatiques ;

WP5 : Vulgarisation & Renforcement institutionnel des mécanismes d'innovation locaux ;

WP6 : Formation ;

WP7 : Communication et diffusion informations (Chibas-UniQ-CIRAD, 2018).

Le présent stage a été exécuté dans le cadre du WP2.

Les résultats attendus par l'institution d'accueil dans le cadre du stage consistaient à adapter un outil de modélisation existant pour co-concevoir avec les producteurs des scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances de leurs exploitations sous contrainte de changement climatique.

1.2- Les EA en Haïti

Par définition, une EA est une unité de production qui combine des facteurs de production (terre, travail et moyens de production), choisis et gérés par l'exploitant afin d'artificialiser le milieu en sa faveur (FAMV & GRET, 1990). En Haïti, les EA sont de type familial (Dufumier, 1998). Car, la force de travail utilisée pour la mise en œuvre du système de production est apportée pour l'essentiel par les membres de la famille du chef d'exploitation (Dufumier, 2004).

Le secteur agricole haïtien compte environ un million d'exploitations agricoles et fournit près de 45% des produits de consommation alimentaire du pays. 98% de ces EA sont gérées directement par les exploitants. C'est une agriculture pluviale à 90%. Les 10% de parcelles irriguées font face à des difficultés d'approvisionnement en eau d'une part et d'ensablement d'autre part (MARNDR, 2012). En majorité, les EA du pays sont de petite taille. Selon les données du recensement général de l'agriculture de 2009, 73,9% des EA dénombrés dans le pays exploitent une SAU inférieure à 1,29 ha, soit 46,7% de la SAU totale. Les 26,1% qui restent ont une SAU supérieure ou

égale à 1,29 ha, correspondant à 53,3% de la SAU totale (*Ibid*).

Après le secteur des services, c'est le secteur « agriculture, foresterie et pêche » qui apporte la deuxième plus grosse contribution au produit intérieur brut (PIB) du pays et emploie près de la moitié de la population active (Banque Mondiale, 2022).

La production végétale est pratiquée sur 95,8% des EA. Les autres activités agricoles et para-agricoles pratiquées sur les EA sont l'élevage et l'aviculture avec des pourcentages respectifs de 80,5% et 76,3% des EA. La production du charbon est également présente sur 21,2% des EA du pays. L'apiculture (0,6%) et l'aquaculture (0,3%) constituent les deux activités para-agricoles les moins pratiquées (MARNDR, 2012).

2. REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre présente un état de littérature qui vise à répondre aux questions suivantes :

Quelles sont les différentes recherches menées en Haïti sur l'adaptation de l'agriculture haïtienne face au changement climatique ? Quelles sont les options d'adaptation mobilisées ?

C'est quoi la co-conception de scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles par la modélisation et en particulier pour faire face au changement climatique ?

2.1- Adaptation de l'agriculture haïtienne au changement climatique

2.1.1- Adaptation au changement climatique

L'accélération et l'intensification des changements environnementaux et socio-économiques globaux font que l'intérêt porté à l'adaptation des systèmes devient de plus en plus grand (Moran, 2008). Dans le contexte du climat, le groupe d'experts international sur l'évolution du climat (GIEC) définit l'adaptation comme :

« Une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Dans les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences » (GIEC, 2014a).

Le concept « adaptation » connaît une montée en puissance depuis plusieurs années et est renforcé sous l'influence des publications du GIEC qui ne cessent de se multiplier (Simonet, 2016). L'adaptation est définie selon plusieurs approches :

- *Adaptation proactive* : Les choix proactifs reposent sur les prédictions d'événements ou de défis futurs qui sont sujets à l'incertitude. Les approches proactives peuvent également donner aux parties prenantes un délai plus long pour s'adapter (McDonald et al, 2019).
- *Adaptation réactive* : elle vise à atténuer les impacts indésirables associés au changement climatique (*Ibid.*).
- *Adaptation autonome ou spontanée* : orienté par la volonté de lutter contre le changement climatique, ce type d'adaptation est mis en œuvre en réponse à un aléa climatique ou à ses effets sans une préméditation préalable des actions à poser (MTECT& MTE, 2022).
- *Adaptation incrémentale* : elle fixe l'objectif de maintenir la nature et l'intégrité d'un système ou un processus à une échelle donnée. Il faut préciser que dans certains cas, elle peut aboutir à une adaptation transformationnelle (GIEC, 2018).

- *Adaptation transformationnelle* : ce type d'adaptation vise à modifier les attributs fondamentaux d'un système en réponse au climat et à ses effets (*Ibid.*).

Parmi les trois types d'adaptation précités, *l'adaptation transformationnelle* permet de mieux considérer la complexité des systèmes et de remettre en question la pertinence des mécanismes institutionnels, techniques et financiers mis en place (Williams, 2012). Par exemple, dans un système agricole, le processus de l'adaptation transformationnelle peut aller jusqu'à repenser les pratiques ayant été mises en place auparavant (Noble et al., 2014).

Soussana (2013) définit la notion « *adaptation au changement climatique* » comme « *l'ensemble des actions contribuant à ajuster les systèmes naturels ou humains en réponse à des phénomènes climatiques, afin d'atténuer leurs effets néfastes ou d'exploiter leurs effets bénéfiques* ». Le degré de cet ajustement déterminera la capacité d'adaptation du système.

Le GIEC définit les *options d'adaptation* comme un ensemble de stratégies et mesures mobilisées dans l'objectif de favoriser l'adaptation. Ces options regroupent une gamme d'activités de nature structurelle, institutionnelle, écologique ou environnementale (GIEC, 2018).

L'adaptation au changement climatique implique en fait un processus en deux étapes : (i) d'abord percevoir que le changement climatique s'est produit et (ii) ensuite décider d'adopter ou non une mesure particulière. Car, la voie adaptation n'est poursuivie que par ceux qui perçoivent les impacts du changement climatique (Maddison, 2007).

Les échelles de temps d'adaptation diffèrent selon le système étudié. Par exemple, elles s'étalent sur quelques années pour les cultures à cycle court et les animaux d'élevage. Cependant, certaines initiatives d'adaptation nécessitent plusieurs années de recherche, voire plusieurs décennies : par exemple, pour la création et l'adaptation d'un matériel génétique (Soussana, 2013).

La notion de « mal-adaptation »

Dans l'élaboration des neuf principes d'une bonne adaptation, Sheraga et Gramsch (1998) font indirectement référence à la mal-adaptation dans leurs travaux. Selon eux, « *la mal-adaptation peut engendrer des effets négatifs qui sont aussi sérieux que les impacts du changement climatique que l'on cherche à limiter* » (Scheraga & Grambsch, 1998). Ce terme a également apparue en 2001 dans le troisième rapport d'évaluation du GIEC comme « *une adaptation qui n'arrive pas à réduire la vulnérabilité, mais l'accroît au contraire* » (IPCC, 2001).

Une publication plus récente du GIEC définit la mal-adaptation comme :

“Des mesures susceptibles d’aggraver le risque de conséquences néfastes associées au climat (y compris par une hausse des émissions de gaz à effet de serre), d’accentuer la vulnérabilité face aux changements climatiques ou de dégrader les conditions de vie actuelles ou futures. Ce résultat est rarement intentionnel” (GIEC, 2018).

La mal-adaptation au changement climatique survient quand la solution adoptée (i) augmente les émissions de GES, (ii) rend plus difficile la situation des plus vulnérables, (iii) présente un coût de renoncement élevé des points de vue économique, social ou environnemental, (iv) limite les incitations à l’adaptation ou (v) induit les générations futures vers une dépendance technologique (Barnett & O’Neill, 2010). Par conséquent, la mal-adaptation peut être considérée comme une mesure visant l’adaptation au départ, mais entraînant une augmentation de la vulnérabilité d’un système au lieu d’aboutir à une réduction de cette vulnérabilité (Serkine, 2015).

Magnant (2013) évoque la tridimensionnalité de la mal-adaptation : environnementale, socioculturelle et économique.

Selon l’auteur, il y a **mal-adaptation environnementale** quand une initiative d’adaptation est incohérente avec les dynamiques des écosystèmes en place et ne tient pas compte des potentielles menaces du changement climatique.

La **mal-adaptation est socio-culturelle**, c’est dans la mesure où cette initiative d’adaptation est incohérente avec les valeurs socio-culturelles d’une population, en ne valorisant pas les compétences autochtones dans le domaine de l’environnement et des risques naturels.

Quand d’une part l’initiative d’adaptation génère la pauvreté, et d’autre part des investissements irréversibles, il s’agit là d’une **mal-adaptation économique** (Magnan, 2013).

La notion « d’atténuation »

L’agriculture a besoin de s’adapter au changement climatique et en même temps réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

L’atténuation, c’est la réduction des sources et l’augmentation des puits de gaz à effet de serre (GIEC, 2018). C’est pourquoi « *adaptation et atténuation* » sont deux stratégies à combiner ensemble pour faire face au changement climatique. Les objectifs poursuivis par l’adaptation et l’atténuation sont différents. L’atténuation se penche sur les causes du changement climatique, tandis que l’adaptation se porte sur les impacts (Locatelli, 2011). Le lien entre ces deux notions donne naissance à « *l’agriculture climato-intelligente* » (Torquebiau et Benoît, 2015). Car, la non prise en compte des émissions de gaz à effet de serre associées aux stratégies d’adaptation est une mesure de mal-adaptation.

2.1.2- Approches de vulnérabilité du secteur agricole haïtien

Dans le domaine de gestion des risques, la vulnérabilité est définie comme l'expression de la propension d'un ou d'un ensemble d'éléments à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel et/ou anthropique (D'Ercole, 1994). Dans un contexte spécifique au changement climatique, la vulnérabilité peut être mesurée suivants trois axes : groupes vulnérables, zones vulnérables et secteurs vulnérables (Richemond, 2021).

Se situant au centre de la Caraïbe sur la trajectoire de nombreux ouragans tropicaux, Haïti est très vulnérable aux catastrophes naturelles (Bougouma et al., 2021). Haïti fait l'objet de manifestations diverses, notamment : les cyclones à fréquence élevée, les inondations catastrophiques répétées, les montées inhabituelles du niveau de la mer, la sécheresse prolongée, etc. (Joseph & Saffache, 2018). Au côté de Porto-Rico et Myanmar (ex Birmanie), Haïti fait partie des trois pays les plus affectés par les risques climatiques sur les 20 dernières années (Eckstein et al., 2021). Sur cette période de 2000 à 2019, Haïti a été touchée par 80 évènements atmosphériques extrêmes, particulièrement des cyclones et des ouragans majeurs, qui ont occasionné des pertes estimées à 392,54 millions de dollars américains (*Ibid.*).

Les changements climatiques sont déjà évidents en Haïti. Les saisons deviennent de plus en plus variables avec des saisons pluvieuses plus tardives que d'habitude, caractérisées par de très fortes pluies et des saisons de sécheresse prolongées (Singh et Cohen, 2014).

L'évolution de la température et de la pluviométrie illustrée par le « *Portail de connaissances sur les changements climatiques* » montre que la température tend à augmenter et continuera d'augmenter, tandis que la pluviométrie diminuera progressivement en moyenne (voir fig.1 et 2).

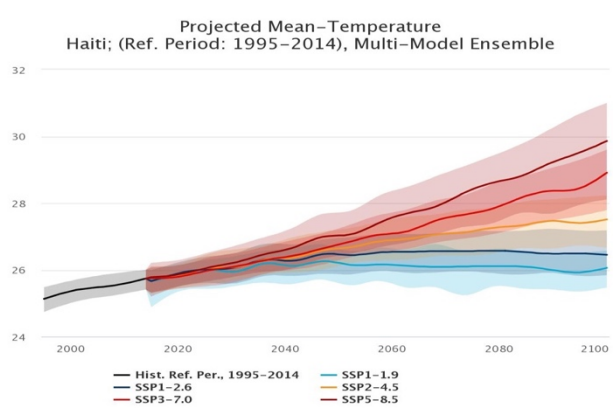


Figure 1: Température moyenne projetée

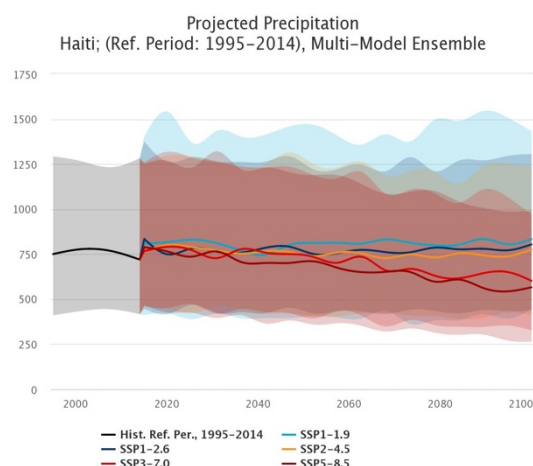


Figure 2: Pluviométrie moyenne projetée

Source : <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/CC>

L'adaptation des systèmes agricoles à des risques climatiques est ancienne (Cochet et al., 2019), et ceci partout dans le monde. Les agriculteurs haïtiens mobilisent des stratégies en vue d'une adaptation au changement climatique. La section suivante se propose de présenter les stratégies d'adaptation mobilisées en Haïti, spécifiquement à Saint Michel de l'Attalaye.

2.1.3- Options d'adaptation au changement climatique mobilisées en Haïti

Étant signataire de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUC), ainsi que le Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris, Haïti a entamé sa lutte contre le changement climatique en 2006 par la publication du plan d'action nationale d'adaptation (PANA). Ce plan établit un ensemble de mesures urgentes en vue d'une amélioration de la capacité d'adaptation du pays au changement climatique. La coordination est menée par le Ministère De l'Environnement (MDE) en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement durable (MARNDR). S'agissant de la planification des stratégies nationales notamment les stratégies d'adaptation au changement climatique, c'est le Ministère de la Planification et de la Coopération Externe (MPCE) qui intervient (Richemond, 2021).

Force est de constater que les politiques et stratégies nationales liées au développement, la sécurité alimentaire et la protection sociale sont multiples en Haïti (Bougouma, 2021) sur papier. Mais cela n'empêche pas que les publications scientifiques et documents institutionnels sur l'adaptation au changement climatique soient peu nombreux (Joseph et al., 2022). Il existe un rapport de la FAO publié dans le cadre du projet de la « *sécurité alimentaire : une agriculture adaptée* » qui fait un inventaire de quelques projets menés en Haïti ayant des liens directs ou indirects avec l'adaptation au changement climatique. Ces informations sont présentées en *annexe 1*.

En Haïti, les travaux de recherche menés sont orientés le plus souvent vers le diagnostic des impacts et la vulnérabilité du secteur agricole haïtien face au changement climatique. Sur l'adaptation, il y en a peu. Les lignes qui suivent présentent succinctement trois publications scientifiques sur l'adaptation de l'agriculture haïtienne face au changement climatique.

- (i) Dans « *La mal-adaptation dans nos réponses pour lutter contre le changement climatique, mauvaise foi ou ignorance ?* » de Chérilus (2016), en essayant de déterminer et de comprendre les connaissances et les perceptions de la population d'une zone côtière sur le changement climatique, l'auteur a conclu qu'il existe un manque d'implication des populations locales dans l'élaboration des plans d'adaptation. Le diagnostic a été réalisé à travers des enquêtes dans la commune de Carrefour, plus précisément dans la localité de *Sou Ray*.

- (ii) À travers « *Les changements climatiques à Haïti : pour la résilience socio-écologique des populations par l'adaptation dans le domaine de l'agriculture. Possibilités et limite du droit interne et international* », thèse publiée à l'université Laval, Fleurant (2020) analyse dans quelle mesure le cadre juridique d'Haïti, en lien avec les mécanismes juridiques internationaux, peut contribuer à l'adaptation de l'agriculture haïtienne au changement climatique.
- (iii) Dans un essai présenté à l'université Sherbrooke par Richemond en 2021 sur *les analyses des mesures d'adaptation face aux changements climatiques en Haïti dans un contexte de précarité économique et d'assistance alimentaire*, l'auteur a analysé les plans d'adaptation officiels et prioritaires mobilisés en Haïti afin de faire face aux changements climatiques.

Cas des agriculteurs de Saint Michel de l'Attalaye

Les agriculteurs de Saint Michel de l'Attalaye perçoivent les effets du changement climatique. Les événements climatiques observés, ressentis et exprimés dans la commune sont : sécheresse prolongée, pluies irrégulières, vagues de chaleur, vents forts, inondations et épisodes cycloniques fréquents (Paul et al., 2021).

La recherche scientifique la plus riche et la plus proche des réalités du terrain sur les stratégies d'adaptation au changement climatique menée en 2019 et publiée en 2021 par le consortium Université Quisqueya/Chibas/Cirad met en évidence huit principales stratégies d'adaptation dans la zone.

Stratégies d'adaptation mobilisées :

- (i) Abandon de certaines cultures, telles que le haricot pour valoriser d'autres cultures résistantes à la sécheresse. De nos jours, les superficies en pois Congo et canne-à-sucre augmentent considérablement.
- (ii) Substitution de variétés : c'est le cas de la substitution du *gros maïs 5 mois* par la variété à cycle court « *maïs ti bourik 2 mois* ». Dans certaines zones qui le permettent, les agriculteurs cultivent les deux en même temps. Car la durée de conservation de la variété de maïs 5 mois est plus longue.
- (iii) Diversification des systèmes de culture : les agriculteurs se sont engagés dans la diversification de leurs systèmes de culture afin de diminuer les risques de mauvaises récoltes dues aux aléas climatiques. Par exemple, au niveau des parcelles de canne, en première année, certains agriculteurs associent la canne avec le pois Congo et le maïs *ti bourik* dans l'espoir de récolter le pois Congo et le maïs avant le plein développement de la canne.
- (iv) Dans les systèmes d'élevage d'herbivores, bovins notamment, nombreux sont les agriculteurs qui valorisent les résidus de récoltes et pailles sèches en les mouillant avec de l'eau salée pour alimenter les troupeaux. La partie

apicale de la canne et les feuilles sont également valorisées en alimentation animale.

- (v) Décalage des dates de semis : de nos jours, à Saint Michel de l'Attalaye, les parcelles sont majoritairement semées en mai ou après (jusqu'à août). Cet ajustement est fait à cause de l'arrivée tardive de la saison pluvieuse du printemps.
- (vi) Augmentation des investissements dans la transformation de la canne-à-sucre en sirop et/ou clairin afin de compenser les éventuelles baisses de récolte au cours de l'année.
- (vii) Usage de bagasse dans les cheminées de chauffage du sirop de canne afin de limiter la coupe excessive des arbres.
- (viii) Prestation du service moulin mobile : les agriculteurs estiment que la productivité de la journée de travail est plus élevée quand ils utilisent le moulin mobile pour extraire le jus de canne (Paul et al., 2021).

D'une manière générale, il faut noter l'importance prégnante de la dynamique sociale dans la mobilisation des stratégies d'adaptation à Saint Michel de l'Attalaye. Par exemple, l'effet de voisinage ainsi que l'appartenance d'un agriculteur à un collectif jouent un rôle important dans l'adoption des innovations à l'échelle des exploitations agricoles (*Ibid.*).

2.2- Accompagner le changement par la co-conception de scénarios

Prost et al. (2017) définissent la conception comme « *un processus actif, structuré autour de boucles de rétroaction, et orienté vers un but d'invention et de mise en œuvre d'objets n'existant pas encore dans le contexte de travail* » (Prost et al., 2017, cités dans Perinelle, 2021).

Hatchuel et al. (2006) ont distingué deux manières de concevoir des systèmes : la conception réglée ou la conception innovante.

La méthode de « **conception réglée** » est la plus courante. Son objectif consiste à améliorer progressivement des connaissances et expertises disponibles en début du processus. Les compétences nécessaires pour innover et les processus de validation (comme les prototypes, les essais, les tests, les indicateurs) n'ont pas besoin d'être modifiés, mais sont bien définis à l'avance. Cette stabilité permet le déploiement à grande échelle de méthodes de travail standardisées et favorise une répartition claire du travail entre recherche et développement. Cependant, la « **conception innovante** » est utilisée pour désigner un processus d'exploration visant à satisfaire des attentes complètement nouvelles n'ayant pas été bien définies au départ. La conception innovante demande de la créativité. C'est lors du processus, au fur et à mesure que se définit le concept de l'innovation. La conception innovante demande aussi une grande capacité à modifier les objectifs recherchés, ainsi que les domaines de connaissances et les collaborations mobilisées (Hatchuel et al., 2006, cités dans Meynard, 2012).

Dans le domaine de l'agriculture, Meynard *et al.* (2012) font mention de deux méthodes de conception : conception *de novo* et conception *pas à pas*.

- La conception *de novo* : vise à concevoir des systèmes de culture ou d'élevage en rupture avec les systèmes existants. Il s'agit d'ouvrir le champ des possibles. Dans ce processus, les modèles jouent un rôle très efficace. Par exemple, les modèles de culture, d'élevage et d'exploitation sont utilisés pour donner une simulation dynamique des performances des cultures, des animaux ou des exploitations agricoles soumis à divers choix techniques et économiques (Meynard *et al.*, 2012).
- Dans la conception *pas à pas*, l'objectif n'est pas de créer une rupture, mais d'organiser une transition progressive vers des systèmes innovants, en s'appuyant sur l'apprentissage en boucle. Ce processus commence par un diagnostic : en quoi les systèmes agricoles actuels répondent-ils à de nouveaux objectifs ? Sur la base de ce diagnostic, des évolutions des systèmes d'exploitation sont conçues et mises en œuvre. Puis un nouveau diagnostic est posé, de nouvelles évolutions des systèmes s'ensuivent, etc. Bref, c'est une véritable spirale d'amélioration continue (*Ibid.*).

La co-conception, une approche participative

Depuis les années 1990, partout dans le monde il y a eu des critiques autour des processus d'innovation descendants ou top-down dans lesquels les décideurs conçoivent des techniques pour que les agriculteurs les appliquent en retour. Ces processus n'ont pas pris en compte les capacités de conception et d'innovation des agriculteurs (Goulet *et al.*, 2008, cités dans Salembier *et al.*, 2018). Les agronomes ayant eu des regards critiques sur ces processus d'innovation top-down du passé ont utilisé des approches participatives pour accompagner les changements locaux. Ils coconçoivent avec les agriculteurs des systèmes agricoles durables et localement appropriés. Dans ces processus de co-conception, les agriculteurs, les agronomes et d'autres parties prenantes partagent les connaissances de base (Salembier *et al.*, 2018).

Par définition, *la co-conception* est considérée comme un processus dans lequel plusieurs personnes ayant des compétences et des perspectives différentes interagissent. C'est la traduction de l'articulation de la pensée collective, de la production d'artefacts, de l'action et de l'expérience individuelles (Lacombe *et al.*, 2018).

Lacombe *et al.* (2018) analysent les théories de la conception pour comprendre la place accordée aux agriculteurs et autres acteurs impliqués dans la conception des systèmes innovants. Un cadre d'analyse basé sur les théories de la conception concernant la co-conception a été construit par ces auteurs pour mettre en évidence les dimensions d'un processus de co-conception et qualifier le lien entre les objectifs transformateurs de la co-conception et leurs effets réels sur les situations de travail des co-concepteurs. Ce cadre a été utilisé pour analyser 39 projets de recherche participative sur la conception de systèmes agro-écologiques. Différentes approches

ont été développées en fonction de la manière dont les agriculteurs et les autres parties prenantes sont impliqués dans les processus de conception et de l'effet de leurs implications sur leurs propres situations de changement et d'apprentissage. Cette analyse, éclairée par les recherches faites sur la co-conception, a permis aux co-auteurs d'identifier cinq approches de projets participatifs pour concevoir des systèmes innovants :

La conception de novo, dont l'objectif est de créer des idéotypes, des cartes conceptuelles ou des modèles informatisés de systèmes agricoles innovants à partir de zéro avec l'aide d'agriculteurs et d'autres parties prenantes. Dans cette perspective, les participants sont choisis par les chercheurs par rapport à leur expertise innovante afin qu'ils ne soient pas trop conservateurs dans le processus. Les connaissances et idéotypes de systèmes pertinents et innovants conçus sont destinés à informer les politiques et les décideurs sur l'innovation à soutenir ou à adopter (Lacombe *et al.*, 2018).

La conception d'études de cas, qui consiste à inviter les agriculteurs et d'autres parties prenantes à examiner une étude de cas impliquant la conception d'un scénario de changements dans un système agricole. Cet exercice s'appuie sur la modélisation. Ainsi, les modèles peuvent-ils être conçus à l'échelle de la ferme ou de la région. À l'échelle de l'exploitation, cela permet aux agriculteurs et à leurs conseillers de tester et de discuter des conséquences de différents scénarios de changement, dans des conditions proches des leurs (Martin *et al.*, 2011 ; Sautier *et al.*, 2017 cités dans Lacombe *et al.*, 2018).

La conception d'innovation de niche : il s'agit d'une méthodologie appelée conception interactive réflexive permettant de concevoir des innovations à l'échelle de la ferme, par exemple, un bâtiment de ferme innovant qui permet une amélioration significative du bien-être animal (Geels et Schot, 2007 cités dans Lacombe *et al.*, 2018). La réalisation d'innovations de niche est difficile en raison de la difficulté à maintenir l'implication des personnes du début à la fin du processus, ce qui prend beaucoup de temps.

La co-innovation, visant à produire des innovations axées sur la pratique pour soutenir l'autonomisation des agriculteurs grâce à la recherche-action participative. Les chercheurs conçoivent des arènes spécifiques pour que les agriculteurs participent à la conception d'innovations axées sur la pratique (Pound et Posthumus, 2016 ; Tiftonell *et al.*, 2012 cités dans Lacombe *et al.*, 2018). L'objectif de la co-innovation est de produire des connaissances qui seront utiles aux agriculteurs pour permettre d'adopter de nouvelles pratiques et techniques dans leur propre contexte, et de les guider dans leur compréhension et leur utilisation de ces connaissances.

La conception centrée sur l'activité, où les chercheurs visent à aider des groupements d'agriculteurs locaux à résoudre un problème structurel lié à leurs activités (Hill *et al.*, 2007 cités dans Lacombe *et al.*, 2018) ou un problème spécifique (Vänninen *et al.*, 2015 cités dans Lacombe *et al.*, 2018). Cette démarche a pour objet à la fois des activités individuelles et collectives qui ont un impact direct sur l'activité individuelle.

Démarches de co-conception appliquées aux enjeux climatiques

Il y a peu de travaux sur les démarches de co-conception appliqués aux enjeux du changement climatique. Andrieu et al. (2019) ont suggéré une démarche de co-conception de systèmes agricoles climato-intelligents en sept phases qui sont résumées dans les lignes qui suivent :

- (i) *L'exploration de la situation initiale* : cette étape fixe l'objectif d'identifier les acteurs locaux potentiellement intéressés à s'impliquer dans le processus, les systèmes agricoles existants et les contraintes spécifiques à la mise en œuvre de l'agriculture climato-intelligente.
- (ii) *La co-définition d'une plateforme d'innovation*, qui définit la structure et les règles de fonctionnement d'une plateforme visant à favoriser/encourager l'implication des acteurs locaux dans le processus de la co-conception.
- (iii) *Le diagnostic partagé*, qui définit les principaux enjeux à résoudre par la plateforme d'innovation.
- (iv) *L'identification et évaluation ex-ante de nouveaux systèmes agricoles*, qui évaluent les performances potentielles des solutions adoptées par les membres de la plateforme d'innovation.
- (v) *L'expérimentation*, qui consiste à tester les solutions prioritairement envisageables à l'échelle de l'exploitation agricole.
- (vi) *L'évaluation du processus de co-conception de systèmes agricoles climato-intelligents*, qui consiste à valider la capacité du processus à atteindre ses objectifs initiaux, notamment en termes de nouveaux systèmes agricoles mais aussi en termes de renforcement des capacités.
- (vii) *La définition des stratégies de mise à l'échelle*, qui traite de la mise en œuvre à une plus grande l'échelle le processus de co-conception (Andrieu et al., 2019).

Naulleau et al. (2022) ont utilisé une approche participative pour concevoir des stratégies d'adaptation en combinant spatialement des mesures d'adaptation. Dans cette approche, les stratégies d'adaptation ont été évaluées par des modèles numériques et des opinions des parties prenantes telles que la faisabilité et l'opportunité. La participation conjointe des chercheurs et des parties prenantes a contribué à la conception d'adaptations pertinentes au niveau local au changement climatique (Naulleau et al., 2022).

2.3- L'outil de « modélisation », qu'est-ce que c'est ?

Dans les processus de co-conception la modélisation est souvent un outil clé.

Thiétart définit la modélisation comme « *une représentation simplifiée et abstraite d'un phénomène réel* » (Thiétart, 2014, cité dans Rasse, 2017).

Les modèles agricoles sont une représentation simplifiée des systèmes réels. Historiquement, l'utilisation de la modélisation dans les systèmes de cultures date des années 1970 (Fernandez et al., 2010).

Le champ de la modélisation est très vaste. Cela pose des difficultés pour élaborer une typologie de modèles. Une classification puisée dans Roubal (2017) et Andrieu (2004) suggère trois types de modèles :

- Les modèles holistiques, qui cherchent à simuler globalement un phénomène sans se préoccuper des mécanismes.
- Les modèles déterministes, qui proposent la description d'un phénomène à travers de variables explicatives. Ils permettent de comprendre le fonctionnement des paramètres mis en cause.
- Les modèles stochastiques, qui contiennent dans leur algorithme une variable aléatoire à chaque utilisation du modèle.

La modélisation permet de tester des scénarios, et de comprendre des réalités complexes (Penot al., 2018). À l'échelle de la ferme, l'outil "*modélisation*" permet aux agriculteurs d'explorer des combinaisons potentielles et réalistes de changements qu'ils veulent apporter au niveau individuel (Andrieu et al., 2022).

Un modèle peut jouer à la fois (i) un rôle figuratif qui consiste à représenter un système et (ii) démonstratif qui met en exergue le raisonnement sur un système. La combinaison des deux rôles donne un modèle explicatif (Penot & Deheuvels, 2007). Selon l'objectif poursuivi, un modèle peut être appliqué comme un outil d'aide à la décision ou un outil d'aide à la recherche (Andrieu, 2004).

L'objectif du *modèle de décision*, c'est d'accompagner les agriculteurs à réfléchir sur leurs stratégies de production et d'aider les conseillers et politiques à mieux saisir l'essence des choix des agriculteurs. Cependant, le *modèle de recherche* facilite la synthèse de connaissances scientifiques (*Ibid.*).

Dans le cas d'un modèle d'aide à la décision, la validation est importante (Andrieu, 2004). Car, c'est la validation qui va permettre de vérifier si le modèle est cohérent avec l'utilisation souhaitée (*Ibid.*). Le modèle devient donc valable quand il est préalablement validé par le terrain ou l'expérimentation (Penot & Deheuvels, 2007).

La modélisation peut être appliquée pour simuler des scénarios (*rôle de simulation*) et d'optimiser des combinaisons (*rôle d'optimisation*). La simulation permet de tester les réponses éventuelles en cas de modification de scénarios et d'apprécier les impacts des changements apportés. Cependant l'optimisation permet de trouver la meilleure combinaison possible de ressources ou d'activités afin de maximiser ou minimiser un résultat donné (MOULIN, Charles Henri, 2022).

Il existe deux principaux outils de simulation :

- (i) « *Des modèles à base d'équation et/ou de corps de règles* » : exigeant peu de données d'entrée à son utilisation. Cet outil requiert beaucoup de connaissances et d'expertise pour son développement. Il facilite une compréhension fine et approfondie des règles de décisions, et permet une analyse intégrative de l'élaboration des performances sur l'effet des pratiques adoptées au niveau d'un système (MOULIN, Charles Henri, 2022).

- (ii) « *Des outils de calculs à base d'opérations simples* » : leur développement est simple. Ces outils exigent beaucoup de données d'entrée et s'appuient sur l'expertise (*Ibid.*).

L'utilisation des outils de simulation peut contribuer efficacement à la co-conception et à l'évaluation des innovations dans les systèmes de production agricole (Penot al., 2018). Les modèles de simulation agricoles sont utiles pour évaluer les performances technico-économiques des scénarios conçus (Andrieu et al., 2022). Par contre, l'utilisation de ces outils fait appel à la prudence dans l'interprétation des résultats. Ces derniers doivent être interactivement discutés avec les acteurs concernés (Penot al., 2018).

3. PROBLÉMATIQUE

3.1- Questions de recherche

La problématique de l'étude a été formulée suivant trois questions de recherche.

Question 1 : Quel est l'état des lieux du fonctionnement et des performances technico-économiques des exploitations agricoles de Saint Michel de l'Attalaye ?

Question 2 : Quels scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles à co-concevoir entre les types ?

Question 3 : Les systèmes de culture et/ou d'élevage de Saint Michel de l'Attalaye, sont-ils tous sur la voie d'adaptation au changement climatique ?

3.2- Hypothèses associées aux questions de recherche

Hypothèse 1 : Les indicateurs d'évaluation des performances technico-économiques présentent des contrastes suivant les types. Les types contenant des EA proactives sont les plus adaptées au changement climatique et présentent les meilleures performances technico-économiques.

Hypothèse 2 : Les scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles co-conçus visent à faire face au changement climatique et à d'autres enjeux de sécurité alimentaire.

Hypothèse 3 : Les systèmes de cultures et d'élevage sont adaptés au changement climatique selon certains indicateurs et mal-adaptés selon certains d'autres.

4. MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.1- La zone d'étude

4.1.1-Délimitation territoriale et organisation administrative

L'étude a été réalisée à Saint Michel de l'Attalaye.

C'est une commune de l'arrondissement de Marmelade situé dans le département de l'Artibonite d'Haïti. Administrativement elle est délimitée :

- Au nord par les communes de Saint Raphaël, Marmelade et Dondon ;
- Au sud par les communes de Petite Rivière et Dessalines ;
- À l'est par les communes de Maïssade et Saint Raphaël ;
- À l'ouest par les communes d'Ennery, Marmelade, Dessalines et Gonaïves.

Ayant une superficie de 613,74 km², c'est l'une des communes les plus larges de la République d'Haïti. Cette commune est majoritairement rurale et présente des hétérogénéités physiques remarquables. Ses coordonnées géographiques sont 19°22' nord et 72°20' ouest.

Elle est subdivisée en huit sections communales : 1ère section Platana, 2ème section Camathe, 3ème section Bas de Sault, 4ème section Lalomas, 5ème section l'Ermitte, 6ème section Lacedras, 7ème section Mamont, 8ème section l'Attalaye. La zone urbaine s'étend sur des portions de territoire des sections l'Attalaye, Platana et Bas de Sault (Mairie de Saint Michel) et Mamon. La population totale de la commune est estimée à 136 876 habitants (est. IHSI, 2009).

Cinq d'entre les huit sections communales sont touchées directement par le programme de mitigation des désastres naturels (PMDN II) : Lalomas, Camathe, l'Attalaye, Platana et Bas de Sault (voir fig.3).

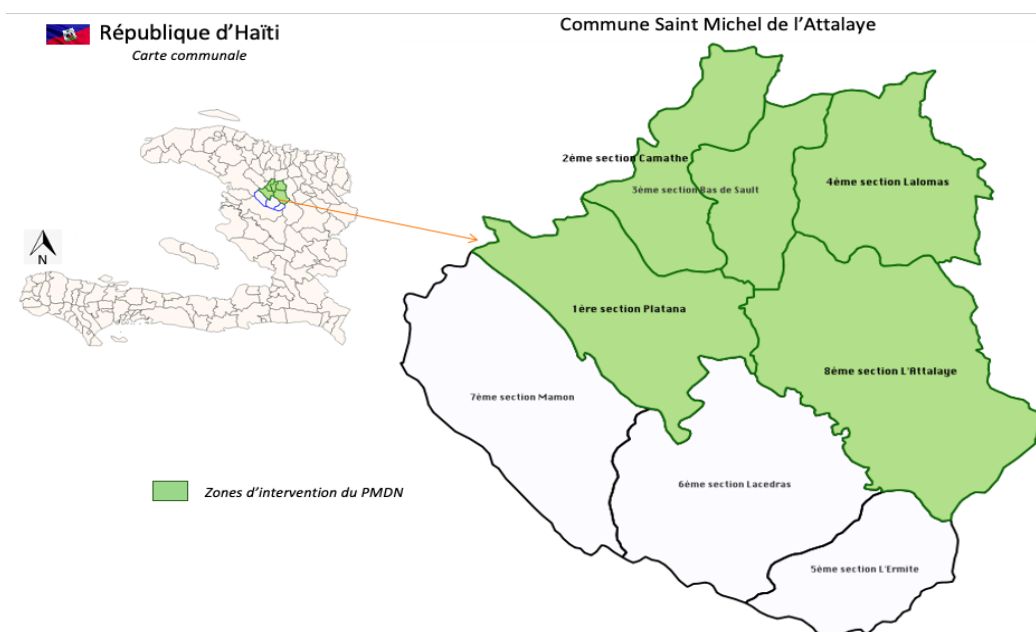


Figure 3: Carte de la commune de Saint Michel de l'Attalaye et les zones d'intervention du PMDN

Source : J. Jules

4.1.2- Climat

Il existe peu de littérature scientifique qui fournisse des données climatiques sur Saint Michel de l'Attalaye. À cet effet, les données illustrées ont été recueillies sur *climate data* (<https://fr.climate-data.org/>) et représentent des moyennes sur les 30 dernières années.

Le climat dominant de type tropical est, selon la classification de Köppen, un climat de savane avec hiver sec (<https://fr.climate-data.org/>). La température et la pluviométrie annuelles moyennes sont respectivement de l'ordre de 23°C et de 1298 mm. La répartition de celles-ci est présentée dans le diagramme ombrothermique suivant (fig. 4) :

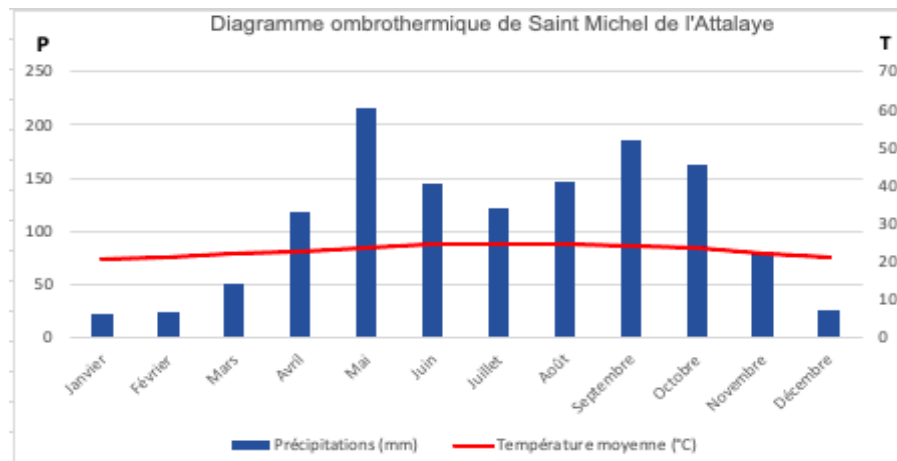


Figure 4: Diagramme ombrothermique de Saint Michel de l'Attalaye

Source : <https://fr.climate-data.org/>

4.1.3- Réseau hydrographique

Il y existe 3 cours d'eau permanents qui s'écoulent du Nord au Sud à Saint Michel de l'Attalaye. Ce sont les rivières Bouyaha, l'Attalaye et Déo. Ces cours d'eau prennent naissance dans les zones d'altitude au Nord à l'Attalaye et dans les communes voisines de Dondon et Marmelade (voir fig.5).

Bouyaha et l'Attalaye se jettent dans la rivière Canot au Sud de Saint Michel de l'Attalaye. Cette dernière est la plus importante de la zone et draine l'eau de nombreux affluents (Paul et al., 2021).

Il faut noter que malgré la présence de ces cours d'eau permanents, aucune des sections sur lesquelles le PMDN est intervenu n'est pourvue d'un système d'irrigation. Le seul ayant été construit en 1996 par le centre d'étude et de coopération internationale (CECI) se trouve à Mamont dans la localité de Nan Paul. Malheureusement, ce système allait être détruit en 2008 par des catastrophes naturelles (Mairie de Saint Michel de l'Attalaye, 2012).

Dans la section communale de l'Attalaye, trois lacs collinaires ont été construits afin de collecter les eaux de ruissellement. Mais par manque de moyens et de technicité, ils ne sont pas exploités.

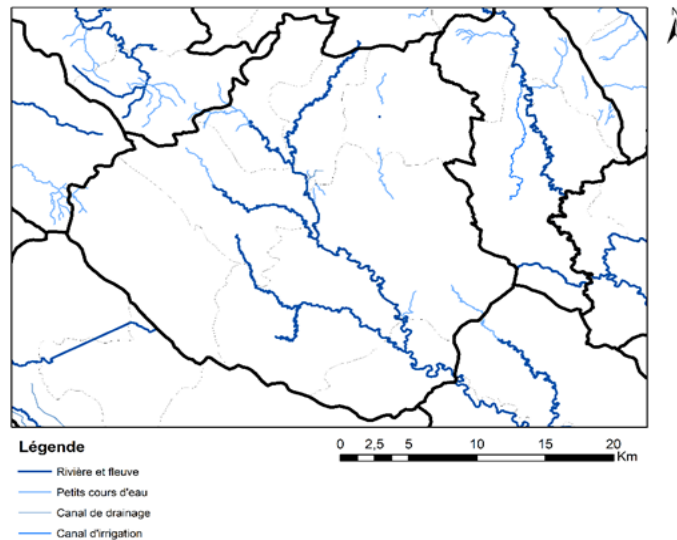


Figure 5: Réseau hydrographique de Saint Michel de l'Attalaye

Source : Paul et al., 2021

4.1.4- Zonage agroécologique

Un zonage agroécologique à dire d'acteurs a été élaboré dans la phase initiale du projet. Le point de départ de ce travail a été réalisé par le repérage des réseaux hydrographiques à partir des enquêtes et des observations de terrain menées sur le territoire. Les figures suivantes (fig. 6, 7, 8) illustrent les différentes zones agroécologiques et les transects parcourus.

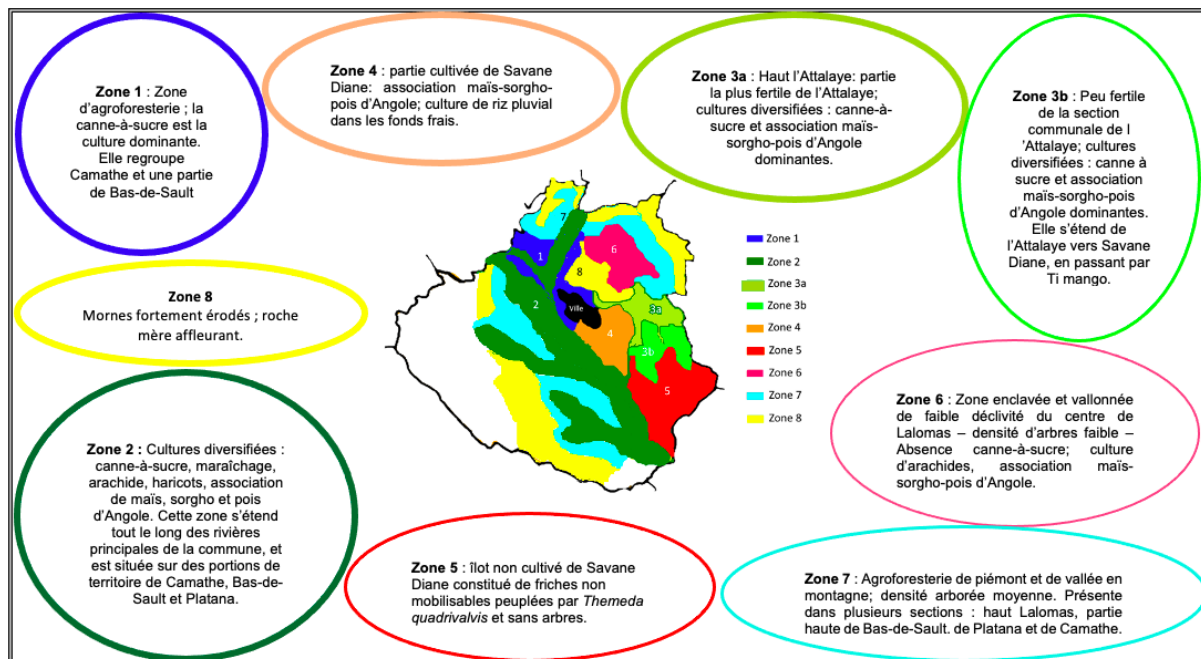


Figure 6: Zonage agroécologique

Source : Paul et al., 2021

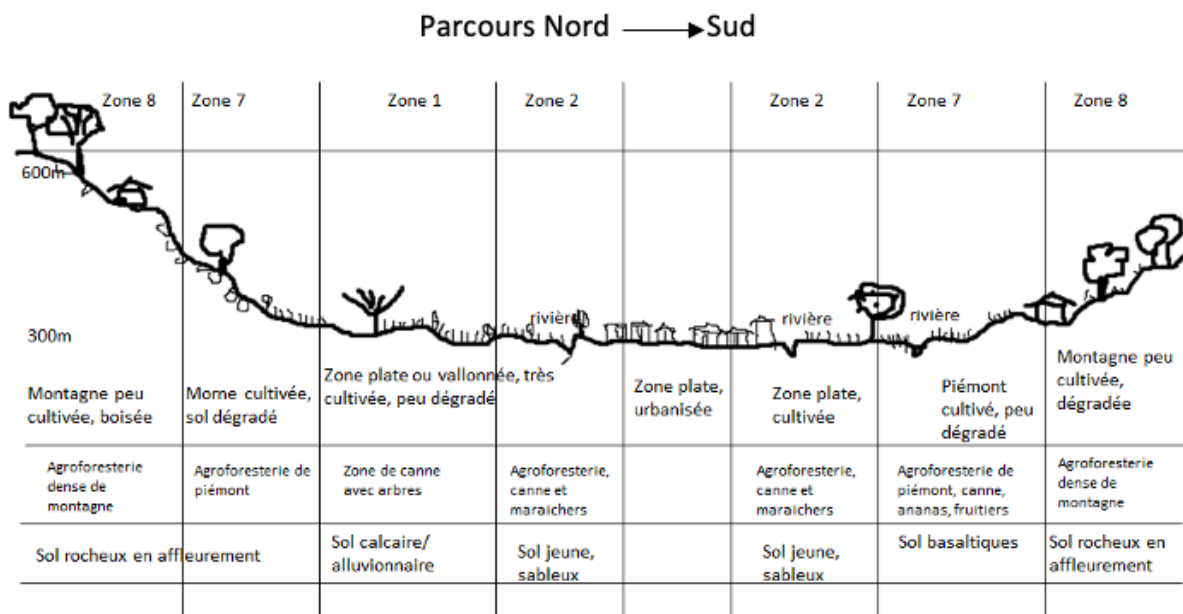


Figure 7: Transect parcouru du Nord au Sud

Source : *Ibid.*

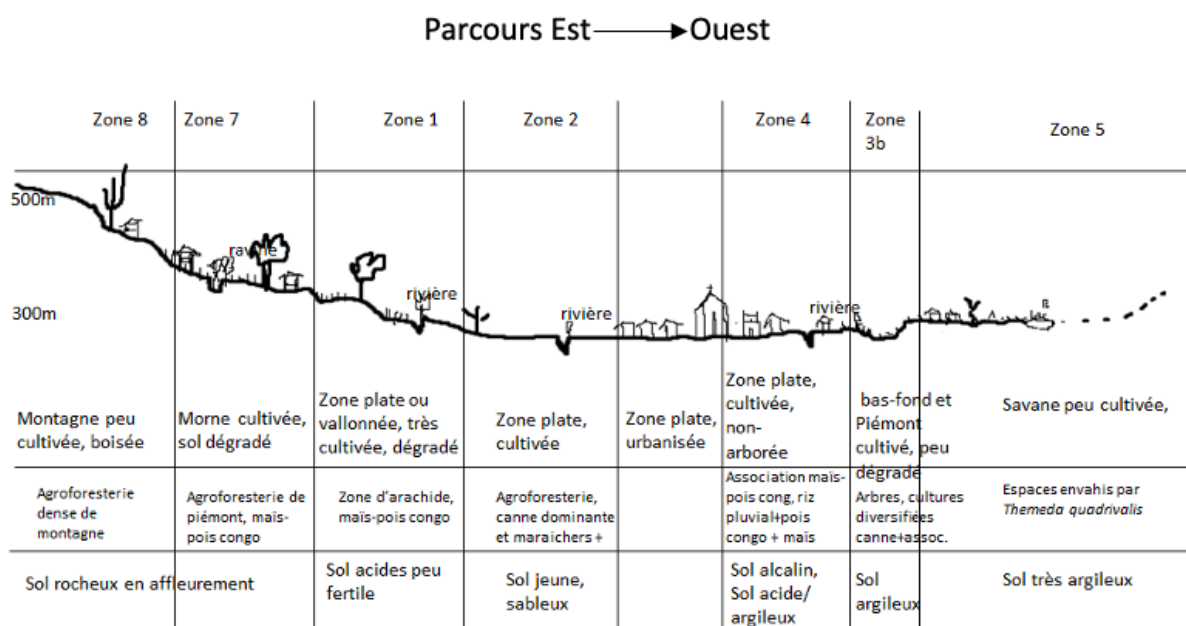


Figure 8: Transect parcouru de l'Est à l'Ouest

Source : *Ibid.*

4.1.5- Topographie

Se présentant comme une vaste étendue de terre dans le prolongement du plateau central, la commune de Saint Michel de l'Attalaye est située à une altitude moyenne de 400 mètres. Cela n'empêche pas que des altitudes élevées dépassant 1200 mètres sont enregistrées dans les parties Ouest et Nord-ouest au niveau des sections Platana et Mamont à l'extrémité des chaînes de montagnes. La commune présente une configuration en cuvette qui la protège contre les cyclones et ouragans (Paul et al., 2021).

La carte suivante illustre la distribution des classes de pentes dans la commune (fig.9).

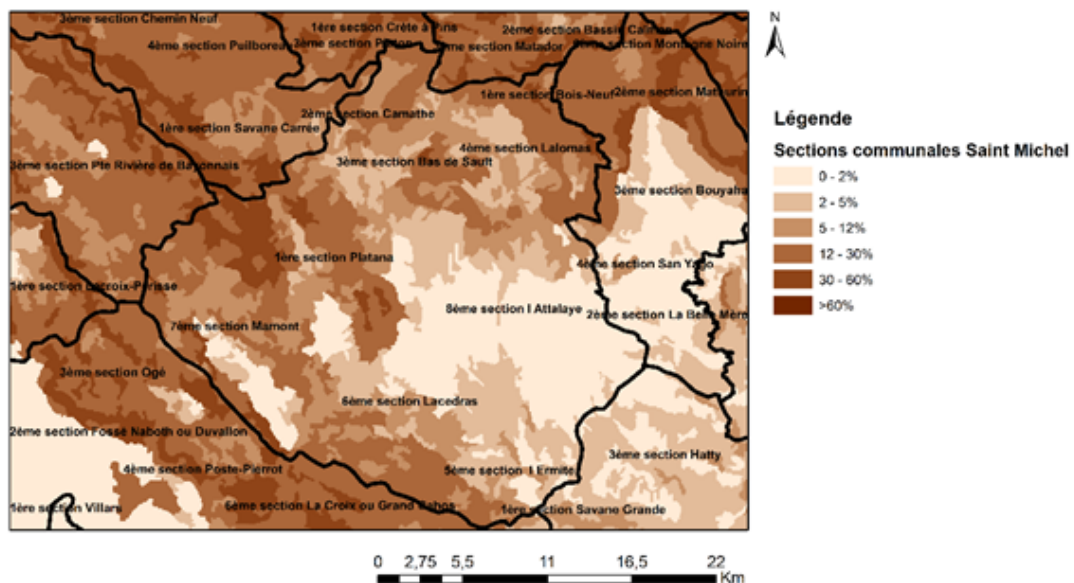


Figure 9: Classe des pentes de la commune de Saint Michel de l'Attalaye

Source : Paul et al., 2021

4.2- L'agriculture de Saint Michel de l'Attalaye

L'économie de Saint Michel de l'Attalaye repose sur l'agriculture et l'élevage. Selon les estimations du recensement général de l'agriculture du MARNDR, la SAU enregistrée à Saint Michel de l'Attalaye est de 22 095 carreaux (28 502,55 hectares) pour un nombre de 19 848 exploitations agricoles (MARNDR, 2012).

L'agriculture de la commune se transforme progressivement vers des systèmes en canne-à-sucre à cause des effets de l'évolution du climat (Paul et al., 2021).

« Les systèmes de cultures sont dominés par quatre types d'associations :

- *Maïs - pois congo - sorgho* : le maïs et le pois congo sont plantés entre avril et juin. Le sorgho est planté en relai, en juin ou juillet
- *Maïs - légumineuse de cycle court (haricot, pois inconnu, arachide)*
- *Canne à sucre*

- Riz - pois congo (avec sorgho éventuellement) » (Paul et al., 2021).

C'est une agriculture familiale de subsistance. La saison d'automne, appelée dernière saison en Haïti, n'est profitée que par des agriculteurs dont leurs parcelles se situent proche d'un point d'eau et ayant les moyens pour irriguer (*Ibid.*).

Les systèmes d'élevage répertoriés à Saint Michel de l'Attalaye sont : bovins, caprins, porcins, équins et des volailles. Les bovins sont élevés pour traction et moulinage de canne, les équins pour transporter les intrants et récoltes (*Ibid.*).

Typologie des EA

Une typologie des systèmes d'exploitation agricole est une représentation de la diversité des dits systèmes reposant sur la distinction entre types d'exploitation à partir de critères discriminants. Il s'agit d'identifier à la fois des groupes d'observations ayant des caractéristiques similaires et des groupes qui se démarquent de manière significative. C'est l'une des méthodes qui permet d'aborder la dynamique et la diversité des exploitations agricoles et tente de les expliquer (Cochet et Devienne, 2006).

Le WP1 a identifié trois types à Saint Michel de l'Attalaye.

Type 1 : Des exploitants innovants proactifs qui font des substitutions de cultures et d'élevage, arrêtent certaines cultures et d'élevage et innovent par rapport à des irrégularités des pluies et de sécheresse prolongée.

Ce sont des EA moyennes, où il y a des innovations comme : réduction du nombre de grains semés par poquet ; édification de structures antiérosives (rampes) ; assemblage de fumier animal ; production de compost.

Certains des exploitants de ce type ont l'habitude de participer à des séminaires de formation sur l'agriculture. Ces exploitants sont pour la plupart des délégués d'association d'agriculteurs et des bénéficiaires directs de projet. Ils commencent à planter des arbres sur leurs parcelles peu à peu.

Type 2 : Des exploitants qui innovent par rapport à des sols dégradées, irrégularités des pluies et de sécheresse prolongée.

Beaucoup de ces EA sont en zone de pente et les sols se dégradent facilement. La canne est cultivée sur les pentes. Les agriculteurs aménagent leurs parcelles avec des structures antiérosives : rampes, des murettes en pierre et canaux de contour.

Type 3 : Des exploitants agricoles dont leurs systèmes de production reposent traditionnellement sur la combinaison de systèmes de cultures et d'élevage, mais tendent de se diversifier davantage avec le changement climatique.

Au niveau de ces EA, les agriculteurs réduisent le nombre de grains semés par poquet. Ils produisent du compost et épandent la cendre de bois sur les parcelles. L'entraide est très forte dans ce groupe.

4.3- Démarche méthodologique

La démarche repose sur trois principales étapes :

- Adaptation de l'outil de modélisation ;
- Diagnostic des performances technico-économiques ;
- Co-conception des scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances technico-économiques des exploitations agricoles et focus groupe sur les stratégies d'adaptation mobilisées.

4.3.1- L'outil de modélisation

4.3.1.1- Présentation de l'outil

Connu sous le nom de « calculateur AgroEcoDiv », cet outil de modélisation construit sur Excel vise à calculer différents **indicateurs technico-économiques** (*production de biomasse, couverture des besoins caloriques de la famille, VAB, revenu*) et **environnementaux** (*Indice de fréquence de traitement IFT, efficacité azotée, émissions de CO2-équivalent*) en vue d'évaluer les performances multiples associées à différents changements possibles (*introduction d'un nouveau système de culture ou d'élevage, d'une nouvelle pratique, d'un changement de surface ou d'effectifs des animaux*) au sein d'une exploitation agricole (Rasse, 2017).

L'outil a été testé et validé par le terrain en 2017 dans le cadre du « projet AgroEcoDiv : construire ensemble la transition agroécologique de l'agriculture Guadeloupéenne (Rasse, 2017). L'équipe du PMDN a choisi cet outil avec l'hypothèse qu'il serait facilement adaptable au contexte Haïtien.

L'outil est structuré en différentes feuilles de calcul :

Les feuilles **Entrées [Famille/Culture/Élevage]** correspondent aux données d'entrées utiles aux différents calculs.

- i. La feuille *famille et généralités* tient compte : de la taille du ménage et effectifs par tranche d'âge | du nombre d'espèces d'arbres, de plantes cultivées et d'animaux sur l'EA | de la SAU totale des SC et SE | du temps de jachère | du temps de travail (actifs permanents et temporaires) | coût de la main d'œuvre | des matériels fixes | de l'estimation des besoins financiers du ménage et des revenus extra-agricoles | des subventions.
- ii. La feuille *culture* tient compte des données d'entrée pour les différents systèmes de culture : SAU des parcelles de culture | charges intermédiaires | production totale de l'EA : quantité vendue et autoconsommée | prix de vente par kg de production.

- iii. La feuille *élevage* tient compte des données d'entrée pour les différents systèmes d'élevage : SAU | effectifs | âge et prix de vente | autoconsommation | charges intermédiaires | subventions.

Les feuilles **Sorties** [*Famille/Culture/Élevage*] correspondent aux résultats des différents calculs.

- i. La feuille de sortie *famille* présente les résultats des indicateurs suivants : besoins caloriques totaux de la famille | recouvrement des besoins caloriques | total jours de travail par an | amortissement total.
- ii. La feuille de sortie *culture* présente les résultats : du produit brut des SC | du coût des charges intermédiaires (CI) | de la surface d'épandage d'intrants | du total de kilocalories autoconsommées | du besoin azoté et de la quantité d'azote (minéral et organique) apportée | de l'efficacité azotée | de la valeur ajoutée brute | et de la biomasse produite par SC.
- iii. La feuille sortie *élevage* calcule : le produit brut des SE | le coût des CI | la quantité de matière sèche et de matière azotée apportée | le taux de recouvrement des besoins alimentaires des animaux | la valeur ajoutée brute des SE.

La feuille **Bilan** correspond aux indicateurs agrégés à l'échelle de l'exploitation.

Ce sont : efficacité azotée totale | indicateur de biodiversité domestique | part de la SAU amendée par la matière organique | bilan carbone | indice de fréquence des traitements | taux de recouvrement des besoins caloriques du ménage | taux de couverture des besoins des animaux | biomasse totale produite | CI | produit brut total | productivité de la terre | valorisation de la journée de travail | valeur ajoutée nette (VAN) | VAN / ha | revenu agricole | revenu agricole / ha | revenu extra-agricole | taux de recouvrement des besoins du ménage par le revenu agricole | taux de recouvrement des besoins du ménage par le revenu extra-agricole.

La feuille **Paramètres** correspond aux paramètres fixes. Ces derniers ne varient pas d'une exploitation à l'autre. Ils sont utilisés dans les calculs et issus de la littérature (par exemple valeur calorique d'une culture, pourcentage matières sèche et azotée, besoin azoté, facteur d'émission, etc.).

Les feuilles **Entrées** CultureBis (CO₂) et Sorties CO₂ sont exclusivement dédiées aux calculs des émissions de gaz à effet de serre en CO₂ équivalent. L'utilisateur ne souhaitant pas intégrer ce calcul peut décider de ne pas renseigner les données de la feuille **Entrées**.

La plus petite échelle considérée par l'outil est celle des systèmes de culture et d'élevage. L'utilisateur doit donc rentrer les données décrivant les surfaces/effectifs, quantités d'intrants et coûts associés à chacun des systèmes de culture et d'élevage présents dans l'exploitation. Des paramètres par défaut sont associés à ces systèmes de culture et d'élevage (valeur calorique, besoin azoté, matière sèche etc.).

4.3.1.2- Adaptation de l'outil dans le contexte de Saint Michel de l'Attalaye

L'outil est flexible et a été bien adapté au contexte agricole d'Haïti.

Les systèmes de culture (associations et cultures pures) et d'élevage rencontrés à Saint Michel de l'Attalaye ont été ajustés et paramétrés dans l'outil de modélisation.

Dans le processus de paramétrage, à chaque espèce ajoutée dans la feuille *entrée culture*, il faut se rendre dans la feuille *paramètre* afin d'ajouter cette espèce et d'ajouter les valeurs des variables suivantes : rendement théorique, valeur calorique, matière azotée totale et matière sèche. La feuille *sortie culture* demande de faire la même chose en y ajoutant les différentes espèces de la feuille *entrée culture*. Cette étape fait appel à une vérification soutenue de l'algorithme reliant les feuilles : *entrée*, *paramètre* et *sortie*, afin d'éviter les erreurs de calcul. Par exemple, l'azote organique apportée dans un SC est exprimé dans la feuille *sortie culture* par l'algorithme suivant :

$$N_{\text{organique apportée}} = ('Entrées\ cultures!\!D523*\!Parametres!\!D233') + ('Entrées\ cultures!\!D525*\!Parametres!\!D234') + ('Entrées\ cultures!\!D527*\!Parametres!\!D235') + ('Entrées\ cultures!\!D529*\!Parametres!\!D237') + ('Entrées\ cultures!\!D531*\!Parametres!\!D238') + ('Entrées\ cultures!\!D533*\!Parametres!\!D239') + ('Entrées\ cultures!\!D535*\!Parametres!\!D241') + ('Entrées\ cultures!\!D537*\!Parametres!\!D243')$$

C'est la même chose pour les SE. Le fait d'ajouter une espèce animale dans les feuilles « *entrée et sortie élevage* » requiert un paramétrage dans la feuille *paramètre*. Ensuite, il faut absolument vérifier la cohérence de l'algorithme entre les différentes feuilles et la justesse des résultats obtenus.

4.3.2- Diagnostic des performances technico-économiques

Cette étape consistait à réaliser des enquêtes directives auprès d'un échantillon de 24 agriculteurs regroupant les 3 types (8 agriculteurs par type) afin d'évaluer les performances technico-économiques des exploitations agricoles.

Les 24 EA ont été puisées au hasard dans une base de données du WP1 regroupant 393 EA sur les cinq sections communales d'intervention du PMDN II.

Les agriculteurs étaient choisis en fonction de leur disponibilité et de l'intérêt qu'ils ont manifesté pour l'étude.

Comme l'illustre la figure ci-dessous (fig.10), la répartition des exploitations agricoles sur les 5 sections communales a été ainsi :

- À Bas-de-Sault, 2 exploitations agricoles du type 1 ;
- À Platana, 2 exploitations agricoles du type 1 ;
- À Lalomas, 2 exploitations agricoles du type 1 ;
- À l'Attalaye, 2 exploitations agricoles du type 1 ;
- À Camathe, 8 exploitations agricoles du type 2 ;
- À l'Attalaye, 8 exploitations agricoles du type 3.

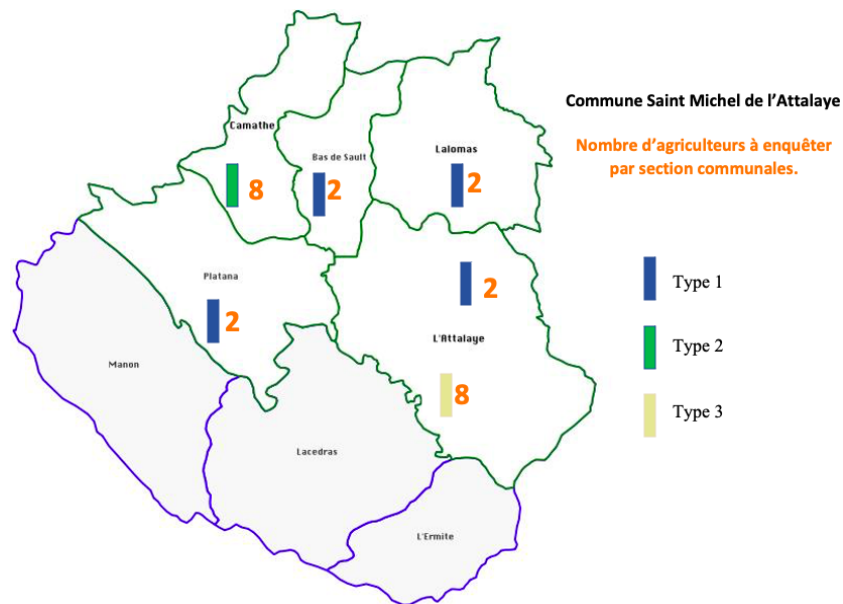


Figure 10: Cartographie des EA enquêtées

Source : J. Jules

4.3.2.1- Le guide d'entretien

Le guide d'entretien (cf. annexe 3) a été élaboré pour récolter les données d'entrées de l'outil de modélisation. Il comprenait plusieurs modules : (i) généralités sur l'exploitation et le ménage, (ii) systèmes de culture et (iii) systèmes d'élevage. Il a fallu environ 2 heures de temps pour mener un entretien avec un agriculteur.

4.3.2.2- Indicateurs étudiés

Biomasse produite dans les SC

L'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME, 2021) définit la biomasse agricole comme « l'ensemble des matières organiques produites et issues des systèmes agricoles : viande, lait, cultures, herbe, résidus de culture, effluents d'élevage ». Donc, il a été jugé nécessaire d'étudier cet indicateur dans le cadre de ce travail de recherche afin d'évaluer la production des matières carbonées au niveau des EA. Les résultats présentés pour la production de biomasse font référence à la biomasse des récoltes déclarées par les agriculteurs à l'échelle des systèmes de culture. Quant aux produits animaux (viande, lait), aux effluents d'élevage et les résidus de culture etc., les agriculteurs n'étaient pas en mesure de fournir des données précises pour ceux-ci.

Recouvrement des besoins caloriques du ménage (RecBesM)

Cet indicateur a été étudié parce que l'agriculture pratiquée à Saint Michel de l'Attalaye est une agriculture familiale et de subsistance. Donc, comprendre la part de cette agriculture dans l'autoconsommation du ménage est dotée d'une importance capitale, surtout dans ce contexte d'adaptation au changement climatique. Le RecBesM est calculé par la formule suivante :

$$\text{RecBesM} = \text{produits autoconsommés (Kcal)} / \text{besoin total du ménage (Kcal)} * 100$$

Efficiences azotée

C'est le rapport entre les sorties azotées de l'EA et les quantités d'azote apportées, mais ne tient pas compte du stock d'azote présent dans le sol (Rasse, 2017).

L'efficiences azotée permet d'apprécier le rendement obtenu par rapport à l'apport d'azote. Les sorties d'azote comprennent les produits animaux et végétaux de l'EA.

Mais dans le cadre de cette étude, l'efficiences azotée a été calculée seulement au niveau des SC en tenant compte de la quantité de récoltes déclarées par les agriculteurs.

$$\text{Efficiences azotée} = \text{sorties azote} / \text{entrées azote}$$

Bilan carbone de l'EA

L'agriculture contribue au changement climatique par les émissions de :

- Dioxyde de carbone (CO₂) dues à :
 - L'usage de carburant, à l'utilisation d'énergie pour la production des intrants agricoles ;
 - La minéralisation des matières organiques : dès lors, il peut avoir un transfert net de CO₂ du sol vers l'atmosphère ;
- Protoxyde d'azote (N₂O) lors de la dénitrification suite à un épandage d'engrais azoté, fumier, mulch de résidus, etc.
- Méthane (CH₄) dans les rizières ou par la fermentation entérique des animaux d'élevage, notamment les bovins.

L'estimation de ces flux de gaz à effet de serre (GES) en tCO₂-éq tient compte du PRG (pouvoir de réchauffement global) à 100 ans du N₂O=265, CH₄=28 et CO₂=1 (MARSDEN, Claire, 2021).

À Saint Michel de l'Attalaye, les exploitations agricoles ne sont pas motorisées ; il n'y a eu pas d'épandage d'engrais synthétiques sur les parcelles au cours de l'année de référence considérée lors des enquêtes. Par conséquent, le facteur d'influence retenu afin d'évaluer le bilan carbone est le nombre de bovins présents sur les EA.

Productivité de la terre, valorisation de la journée de travail, valeur ajoutée nette par hectare (VAN / ha) et revenu agricole

Ces indicateurs ont été aussi calculés afin d'évaluer les performances technico-économiques des EA.

La productivité de la terre est le rapport entre la marge brute de EA et de sa SAU. Elle est exprimée en unité monétaire par hectare, donc HTG / ha dans le cas d'Haïti.

$$\text{Productivité de la terre} = (\text{Produit brut total} - \text{CI}) / \text{SAU de l'EA}$$

La valorisation de la journée de travail est le rapport entre la marge brute et le nombre de jour de travail mis par les actifs de l'EA au cours de l'année de référence.

$$\text{Valorisation de la journée de travail} = (\text{Produit brut total} - \text{CI}) / \text{nbre jour de travail}$$

La valeur ajoutée nette par hectare (VAN / ha) est le rapport entre la valeur ajoutée nette et la SAU de l'EA en hectare.

$$\text{VAN / ha} = (\text{Produit brut total} - \text{CI} - \text{amortissement}) / \text{SAU de l'EA}$$

Le revenu agricole concerne le revenu total généré sur l'EA après avoir enlevée toutes les dépenses dans le produit brut total.

Revenu agricole = Produit brut total - CI – amortissement – coût total de main d'œuvre

4.3.2.3- Traitement des données

Les données d'enquêtes recueillies auprès des agriculteurs ont été archivées puis soumises à un traitement primaire afin d'ajuster les unités de mesures et les rendre manipulables dans l'outil de modélisation (fig. 11). Car, lors des enquêtes, les agriculteurs expriment les denrées récoltées en marmites de céréales, marmites de légumineuses, sacs de tubercules etc. Ces données en sacs ou en marmites sont convertissables en kg. Pour parvenir à un tel résultat, une base de données de la sous-structure agricole et informatique du MARNDR a été utilisée afin de convertir les récoltes en kg ([www.agriculture.gouv.fr/statistique agricole](http://www.agriculture.gouv.fr/statistique_agricole)). Par exemple, une marmite de maïs en grain séché est équivalente à 2,7 kg (cf. annexe 7).

Après le traitement primaire, les données ont été entrées dans l'outil de modélisation. Ainsi, 24 fichiers de simulation ont été construits.

À la fin, les indicateurs des bilans de ces 24 exploitations agricoles ont été compilés sur Excel, puis importés sur R pour des tests statistiques (normalité, homoscédasticité et ANOVA) et construction de figures.

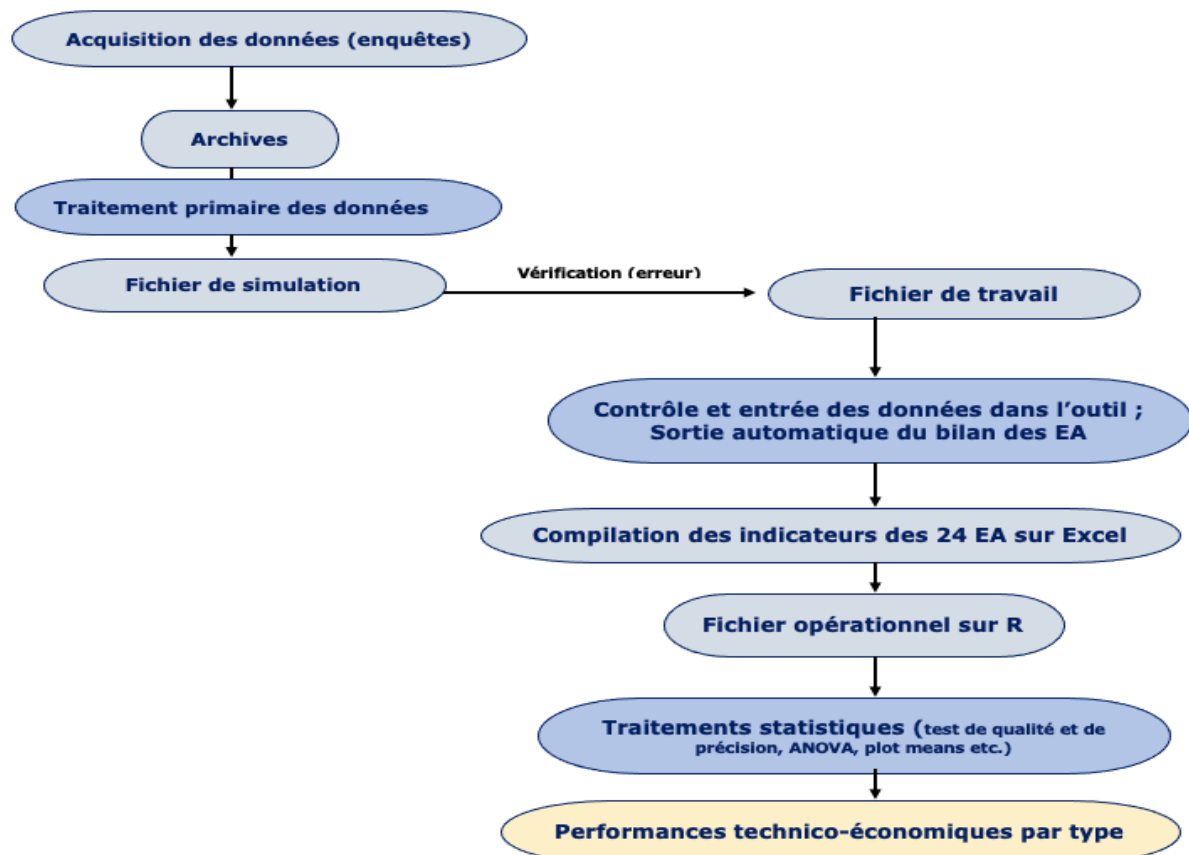


Figure 11: Chaîne d'acquisition et de traitement des données

Source : J. Jules

4.3.3- Co-conception des scénarios et focus groupe

Le diagnostic des performances technico-économiques et du fonctionnement des exploitations agricoles a été suivi par une étape de co-conception de scénarios d'amélioration de celles-ci avec les agriculteurs. La co-conception a été faite avec un échantillon de neuf agriculteurs représentatifs (trois par type) sélectionnés parmi les 24 ayant été enquêtés. Les choix de ces agriculteurs ont été faits suivant leur disponibilité pour une deuxième phase d'entretien, suivant leur volonté de continuer à pratiquer l'agriculture dans le futur et la SAU de leurs EA supérieure ou égale à 1,5 carreau (1,935 ha).

Ces entretiens ont été menés sur les parcelles cultivées.

Cette étape consistait à restituer à l'agriculteur une représentation simplifiée des performances technico-économiques de son exploitation agricole. Nous avons demandé à l'agriculteur si les résultats du modèle reflétaient réellement la réalité de l'exploitation agricole.

Pendant l'étape de diagnostic, les agriculteurs ont été clairs sur les principaux objectifs pour lesquels ils pratiquent l'agriculture : obtenir de l'argent et utiliser une partie des produits vivriers pour nourrir leurs ménages. De ce fait, pour faciliter leurs compréhensions, les indicateurs ayant été restitués aux agriculteurs sous forme graphiques sont : (i) la couverture des besoins caloriques du ménage par l'autoconsommation et (ii) le revenu agricole (cf. annexe 5).

Après sont venues des discussions autour d'autres indicateurs présentés dans le chapitre : biomasse totale produite dans les SC, efficacité azotée des SC, bilan carbone, productivité de la terre, valorisation de la journée de travail et valeur ajoutée nette par hectare (VAN / ha).

Lors de la co-conception, la parole a été entièrement accordée aux agriculteurs afin qu'ils puissent exprimer les éventuels changements liés aux contextes économiques et climatique qu'ils veulent apporter au niveau de leurs systèmes de production agricole. Les grandes questions abordées lors de cette étape de co-conception étaient :

- *Au cours de ces dernières années, quels sont les changements liés aux contextes économique et climatique apportés au niveau des exploitations agricoles (SC & SE) ?*
- *Considérant le fonctionnement de l'exploitation et les performances technico-économiques actuelles, quelles seraient les éventuelles perspectives envisagées pour les améliorer ?*
- *Compte tenu des effets du changement climatique ressentis, quelles seraient les nouvelles pratiques et techniques mobilisées comme mesure d'adaptation au changement climatique ?*

De nouveaux scénarios ont été conçus par les agriculteurs. Ces données ont été traitées et analysées afin de comparer les nouveaux résultats avec les résultats du

diagnostic. En ce qui a trait au traitement des données, c'est la même démarche que celle utilisée pour analyser les données de la phase de diagnostic.

Et enfin, un focus groupe a été organisé à l'hôtel la Belle Marie de Saint Michel de l'Attalaye. Un groupe de 20 parmi les 24 agriculteurs enquêtés ont été réunis afin d'échanger sur les stratégies mobilisées par les agriculteurs de Saint Michel de l'Attalaye en vue d'une adaptation face au changement climatique. La grande préoccupation du débat, c'était de (i) comparer l'agriculture d'aujourd'hui par rapport à celle de l'époque de leurs parents, (ii) connaître les stratégies d'adaptation qu'ils mobilisent individuellement ou en collectif et (iii) de savoir leurs attentes pour pouvoir mieux s'adapter.

4.4- Chronogramme d'activités

Le stage a duré 5 mois (d'avril à août 2022). Le tableau suivant fait référence au calendrier des travaux réalisés.

Tableau 1: Chronogramme d'activités

Activités	Avril à novembre 2022							
	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Lecture bibliographique, adaptation de l'outil de modélisation, Projet de stage	■							
Rentrée en Haïti, Observation de terrain		■						
Enquêtes directives			■					
Analyse des données et modélisation explicative du fonctionnement et des performances technico-économiques des 24 exploitations agricoles.			■	■				
Restitution des résultats des modèles aux agriculteurs enquêtés				■				
Co-conception des scénarios d'amélioration avec les agriculteurs ; focus groupe					■			
Restitution d'un rapport préliminaire aux tuteurs et retour en France						■		
Rédaction du mémoire et correction						■	■	
Soutenance du mémoire								■

5. RÉSULTATS

S'articulant en trois sous-chapitres, ce chapitre présente les résultats des deux phases d'activités réalisées durant le stage. Les deux premiers sous-chapitre présentent les résultats du diagnostic des performances technico-économiques et du fonctionnement des 24 exploitations agricoles (EA) enquêtées. L'autre sous-chapitre présente les résultats des scénarios d'amélioration construits par les agriculteurs de Saint Michel de l'Attalaye.

5.1- Fonctionnement des exploitations agricoles de Saint Michel de l'Attalaye

Les échanges durant les différentes phases de terrain y compris l'atelier de focus groupe réalisés avec les agriculteurs dans le cadre de cette étude nous ont permis de comprendre le fonctionnement des EA de Saint Michel de l'Attalaye. Les caractéristiques des 24 EA enquêtées sont présentées dans le tableau suivant (tab. 2).

Tableau 2: Récapitulatif des 24 EA enquêtées

Code EA	Taille de la famille	Actif permanent	SAU tot (ha)	SAU en canne (ha)	Principales cultures	Espèces d'animaux
TYP1-AT1	6	3	4,23	0	SC1 : Maïs, papaye, piment, pois Congo, plantain, igname, taro (agroforesterie) ; SC2 : Maïs, pois Congo, banane, plantain, arachide, manioc ; SC3 : Maraîchage (Betterave, poivron)	4 cabris
TYP1-AT2	3	1	4,515	0	SC1 : Maïs, pois Congo, manioc / SC2 : Maïs, pois Congo, papaye, plantain	2 bœufs
TYP1-L3	5	1	5,805	3,225	SC1 : Canne / SC2 : Manioc, patate douce	3 bœufs, 1 cheval
TYP1-L4	3	2	3,87	1,935	SC1 : Canne / SC2 : Pois Congo, maïs, arachide	2 cabris
TYP1-P5	7	1	2,58	1,29	SC1 : Canne / SC2 : Banane	5 cabris
TYP1-P6	1	1	1,29	1,29	SC : Canne, Banane	
TYP1-B7	1	1	1	0,5	SC1 : Canne / SC2 : maïs, pois Congo, pois inconnu	1 cabris
TYP1-B8	8	1	1,935	0,645	SC1 : Canne / SC2 : Maïs, pois Congo, dolique d'Égypte	2 cabris, 1 porc
TYP2-C1	10	4	3,5475	2,58	SC1 : Canne / SC2 : Maïs, haricot	2 bœufs, 11 cabris
TYP2-C2	7	2	1,935	1,935	SC : Canne	1 bœuf
TYP2-C3	7	2	2,58	2,58	SC : Canne	3 cabris
TYP2-C4	8	2	1,935	1,29	SC1 : Canne / SC2 : Manioc, banane, papaye	4 cabris, 3 porcs, 1 mulets
TYP2-C5	12	4	3,225	2,58	SC : Canne, Papaye	4 bœufs, 3 cabris
TYP2-C6	7	3	5,5	3	SC1 : Canne / SC2 : Manioc, pois Congo, maïs, pois inconnu	3 cabris, 4 porcs
TYP2-C7	10	2	1	1	SC : Canne	9 cabris
TYP2-C8	8	1	2,58	1,935	SC : Canne	1 bœuf

TYP3-AT1	11	5	5,16	0	SC : Maïs, Pois Congo, Sorgho, pois inconnu, gombo	7 cabris
TYP3-AT2	9	2	2,58	0,645	SC1 : Riz, pois Congo / SC2 : Canne, maïs, pois Congo, pois inconnu	3 bœufs, 1 porc
TYP3-AT3	3	2	1,29	0	SC1 : Pois Congo, maïs / SC2 : riz	3 cabris, 1 porc
TYP3-AT4	14	4	5,4825	2,2575	SC1 : Canne / SC2 : Maïs, pois Congo / SC3 : riz, pois Congo	3 bœufs, 2 chevaux
TYP3-AT5	1	1	1,29	0	SC1 : Pois Congo, arachide, maïs, sorgho / SC2 : Riz, pois Congo	2 bœufs
TYP3-AT6	5	2	2,58	0,645	SC1 : Canne / SC2 : Maïs, pois Congo / SC3 : Riz, pois Congo	2 cabris
TYP3-AT7	7	3	3,87	1,29	SC1 : Canne / SC2 : pois Congo, Riz / SC3 : Maïs, pois Congo	2 cabris, 2 porcs
TYP3-AT8	10	4	3,87	1,29	SC1 : Canne / SC2 : Maïs, pois Congo, arachide, sorgho	2 bœufs

Voir *annexe 9* pour les noms scientifiques des différentes espèces.

Indications

SC : système de culture

TYP1-AT : Exploitations agricoles du type I au niveau de la section l'Attalaye ;

TYP1-L : Exploitations agricoles du type I au niveau de la section Lalomas ;

TYP1-P : Exploitations agricoles du type I au niveau de la section Platana ;

TYP1-B : Exploitations agricoles du type I au niveau de la section Bas de Sault ;

TYP2-C : Exploitations agricoles du type II au niveau de la section Camathe ;

TYP3-AT : Exploitations agricoles du type III au niveau de la section l'Attalaye.

5.1.1- Organisation du travail sur les EA

À Saint Michel de l'Attalaye, les travaux de l'EA sont gérés par le chef de l'exploitation accompagné de son conjoint et/ou de quelques membres de la famille. Il (s) représente (nt) la main d'œuvre permanente de l'EA. En période de pointe (désherbage, récolte...), certains agriculteurs ont recours au système de *coumbite*, une sorte d'entraide où un groupe d'agriculteurs décide d'aller travailler sur l'EA d'un autre agriculteur dans l'objectif de l'aider. Mais dans la majorité des cas, ils font appel à la main d'œuvre extérieure.

Les agriculteurs de Saint Michel de l'Attalaye échangent des outils agricoles entre eux. Certains ménages ayant des liens familiaux ont l'habitude d'utiliser des matériels agricoles ou ateliers de transformation en commun : charrue, atelier de transformation du sirop de canne en clairin (guildive), moulin canne etc.

Certains exploitants de Saint Michel de l'Attalaye louent leurs guildives, charrues, bovins à traction ou moulins de canne à disposition d'autres exploitants. Il existe également des prestataires de services de moulins mobiles à moteur. Ces moulins sont utilisés pour l'extraction du jus de canne. Les EA sur lesquelles il existe des guildives ou moulins de canne sont de véritables sources d'emploi à Saint Michel.

Depuis quelques années, les moulins mobiles prennent une place considérable à Saint Michel de l'Attalaye dans les processus d'extraction du jus de canne. L'utilisation de ces moulins exige moins de dépenses en main d'œuvre par rapport aux moulins à traction. En contrepartie, le propriétaire du moulin mobile réclame sa rémunération en nature (sirop de canne).

L'élevage est largement pratiqué à Saint Michel de l'Attalaye. Selon les données d'enquêtes recueillies dans le cadre de cette étude, la quasi-totalité des EA enquêtées pratiquent l'élevage (voir tab. 2). Les animaux sont gardés à la corde pendant les saisons de culture et sont en vaine pâture en hiver sur les parcelles après les récoltes. Mais quotidiennement, les éleveurs déplacent les animaux des parcelles ou de la savane pour les attacher à la maison le soir dans l'espoir de réduire les risques de vol.

5.1.2- Calendrier cultural

Sur 24 EA enquêtées, près de 17 systèmes de culture (SC) différents ont été identifiés (voir tab. 2) . Cela traduit le niveau de diversification de l'agriculture à Saint Michel de l'Attalaye. Les SC les plus représentatifs sont :

- *Canne-à-sucre*
- *Pois Congo x maïs*
- *Riz pluvial x pois Congo*
- L'association *maïs x papaye x pois Congo x banane* qui est rare certes, mais présente une importance économique particulière, car la papaye et la banane sont très demandées sur le marché.

Pour un même système de culture, l'organisation du travail sur l'année n'est pas différente d'une EA à l'autre. Parfois, le retard de pluies dans certaines zones peut retarder les dates de semis d'une part. D'autre part, un manque de disponibilité de semences ou de moyens pour payer les prestations de préparation de sol peuvent faire varier le calendrier cultural d'une EA à l'autre.

La figure suivante (fig. 12) présente le calendrier cultural de chacun des systèmes de culture cités ci-dessus.

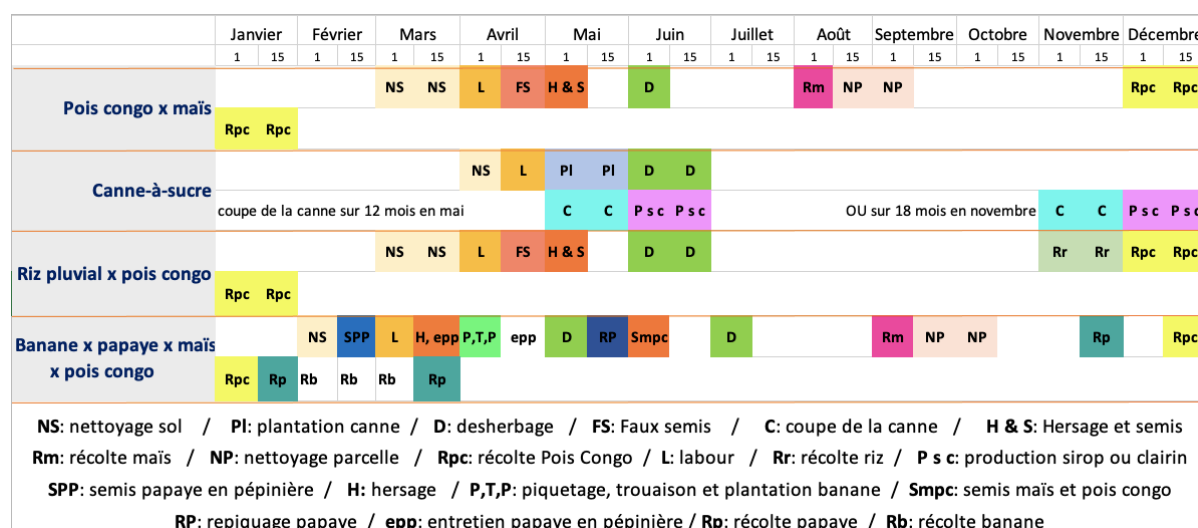


Figure 12 : Organisation du travail sur l'année par SC

Source : J. Jules

NB : Sur les collines de Camathe et de Bas-de-Sault, les agriculteurs utilisent pioche,

houe et louchette pour labourer le sol. Car, ces outils sont mieux adaptés au type de relief dominant dans ces sections communales. Selon les dires des agriculteurs, l'une des raisons pour lesquelles la canne est cultivée sur ces collines, c'est pour lutter contre l'érosion.

« Je cultive la canne sur les pentes parce qu'elle protège le sol, ça nous aide contre l'érosion. Les feuilles décomposées sur le sol retiennent l'eau, les racines de la canne retiennent la terre, ça empêche le lavage du sol » (verbatim d'un agriculteur).

5.1.3- Interactions au niveau de l'EA

Les interactions entre parcelles, troupeau et ateliers de transformation sont fortes à Saint Michel de l'Attalaye (voir fig. 13). Cela favorise donc une synergie positive.

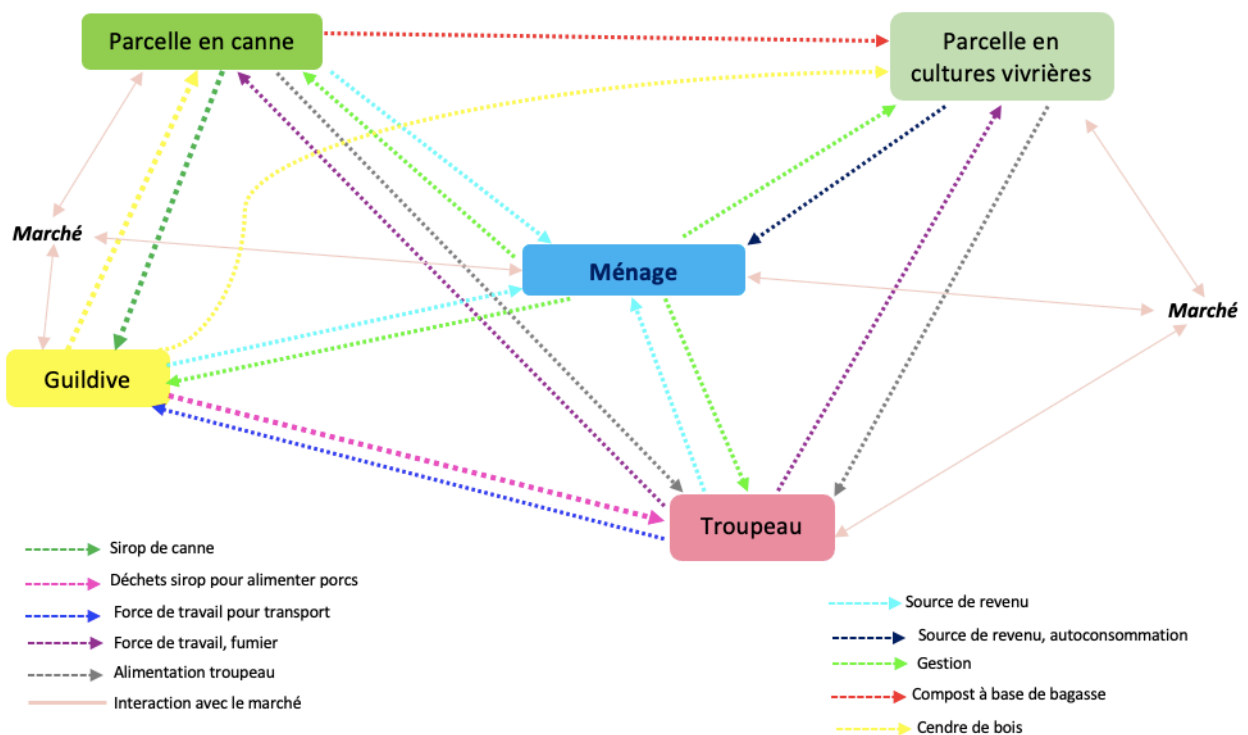


Figure 13: Interaction entre les composantes des EA

Source : J. Jules

Le travail de l'EA via les animaux

Sur les EA où il y a des bêtes de somme, les forces de travail de ces dernières sont employées dans le transport de matériaux et de récoltes (équins) dans le labour, le hersage et dans le moulinage de la canne (bovins).

Le renouvellement de la fertilité via les animaux et les parcelles de canne

Les agriculteurs valorisent les fumiers animaux pour fertiliser les parcelles : c'est l'un des objectifs de la vaine pâture en hiver.

En plus, une partie des bagasses de canne est transformée en compost afin de renouveler la fertilité des parcelles.

Amendement des sols par la cendre de bois

Les agriculteurs de Savane Diane (section l'Attalaye) commencent à épandre la cendre de bois sur leurs parcelles. En effet, les sols de la savane sont acides (Paul et al., 2021). De ce fait, les exploitants font usage de la cendre à des fins d'alcalinisation (c'est-à-dire diminuer la concentration des protons H⁺ dans la solution du sol). Ces cendres de bois proviennent en grande partie des guildives et dans les cheminées des fours de transformation du jus de canne en sirop.

L'alimentation des animaux via les parcelles de canne et les parcelles de culture

Les résidus de récolte servent à alimenter le troupeau. Les parcelles de canne en jouent un rôle important en raison de la forte capacité de production de biomasse de cette culture et de sa palatabilité. Les exploitants utilisent les têtes et la bagasse de canne pour alimenter le troupeau.

Après la récolte d'hiver, les animaux sont introduits sur les parcelles en vaine pâture afin de valoriser les résidus de récolte.

L'élevage, un moyen d'épargne

L'élevage est utilisé comme moyen d'épargne par de nombreux agriculteurs de Saint Michel de l'Attalaye. Assez souvent, l'acquisition d'un foncier, l'installation d'un moulin de canne ou la mise en place d'une nouvelle parcelle en cultures vivrières ou en canne nécessite la vente d'un ou plusieurs animaux afin de couvrir les dépenses relatives. En plus, la vente d'animaux permet d'acheter des intrants, de payer des prestations de services ou de renouveler l'outillage agricole.

« En dépit des contraintes liées à l'insécurité (vol d'animaux), au manque de disponibilité de fourrages et d'eau d'abreuvement, nous ne pouvons pas nous séparer de l'élevage. Quand un membre de la famille tombe malade, c'est la vente d'un ou plusieurs animaux qui va le faciliter d'aller à l'hôpital. La vente d'animaux nous permet de payer la scolarité de nos enfants. Des fois, pour couvrir les dépenses lors d'une campagne agricole, je vends plusieurs cabris » (verbatim d'un agriculteur).

Destination de la production de canne

À Saint Michel de l'Attalaye, la filière de la canne est très segmentée. Les producteurs de canne ne sont pas forcément les particuliers qui possèdent les guildives. C'est ce que révèle cette étude. En effet, aucune des 24 EA ayant été enquêtées n'est dotée d'une guildive qui fonctionne actuellement.

En vertu de cette réalité, une production de canne peut emprunter plusieurs destinations potentielles :

- Vente de la récolte sur pied ;
- Transformation de la canne en sirop afin d'être vendu ;
- Transformation de la canne en sirop, puis en clairin afin d'être vendu en gros et/ou en détail.

Nb : Au cas où le producteur de clairin ne possède pas de guildive sur son EA, il doit avoir recours à la location d'une de l'extérieur.

Les parcelle de cultures vivrières, les parcelle en canne et atelier de transformation : sources d'aliments et de revenus pour les ménages

Les revenus obtenus des parcelles en canne et de la production de clairin aident les agriculteurs à couvrir certaines dépenses dans les ménages. Par exemple : achat de produits alimentaires de base, paiement de scolarité, construction de maisons, acquisition véhicules etc.

« Depuis plusieurs années, je ne cultive que de la canne sur mes parcelles. C'est grâce au revenu de la canne que je nourris la maison. Il y a trois ans de cela, j'ai donné 85 mille gourdes à mon premier fils pour qu'il puisse acheter une motocyclette. C'est dans la vente de sirop de canne que j'ai fait cet argent »
(verbatim d'un agriculteur).

« J'ai 2 de mes enfants qui sont à l'école au Cap chez les frères catholiques, c'est l'argent du clairin qui paie leur scolarité. En plus, j'ai une maison dans le bourg ayant un toit en béton Agro, c'est le clairin qui me la donne » (verbatim d'un agriculteur).

L'autoconsommation d'une partie des vivres récoltées aident les ménages à répondre à leurs besoins alimentaires.

« Agro, certes nous avons des parcelles en canne, mais nous sommes obligés de cultiver des vivres oui agro. L'année dernière, c'est grâce aux récoltes de pois Congo, du maïs et du riz dans la savane que je suis arrivée à nourrir mes enfants. Les récoltes étaient bonnes » (verbatim d'une agricultrice).

5.2- Performances technico-économiques des exploitations agricoles

5.2.1- Biomasse produite à l'hectare et efficacité azotée au niveau des systèmes de culture (SC)

Le tableau et la figure ci-dessous indiquent respectivement l'analyse de variance (ANOVA) et la tracée de la moyenne « *plot of means* » de la quantité de biomasse produite à l'hectare au niveau des SC.

Tableau 3: ANOVA de la production de biomasse par ha

	Mean (kg)	Sd	N	
TYP1	17528.62	8752.863	8	B
TYP2	32984.25	5881.474	8	C
TYP3	8056.50	7376.572	8	A

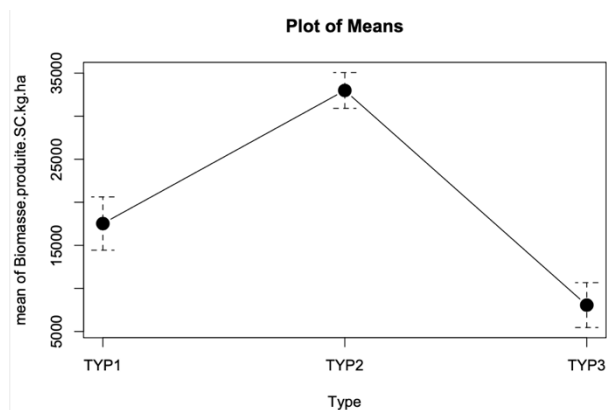


Figure 14: Répartition moyenne de la production de biomasse par ha

L'ANOVA indique que les types 1, 2 et 3 présentent des différences significatives en ce qui a trait à la production de biomasse. Les EA du type 2 sont celles qui présentent en moyenne la plus forte production de biomasse à l'hectare, environ 33 t/ha. Se basant sur les données d'enquête (tab. 3), ces exploitations sont celles qui possèdent également la superficie moyenne en canne-à-sucre la plus grande.

C'est pareil pour l'efficacité azotée (tab. 4), elle est plus élevée dans les types dont leur superficie en est plus élevée. L'ANOVA montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les EA du type 1 et type 3. Mais en moyenne, l'efficacité azotée du type 2 est environ deux fois supérieure que celle du type 1.

Tableau 4: ANOVA de l'efficacité azotée

	Mean	Sd	N	
TYP1	458.2962	387.7730	8	A
TYP2	1316.8487	764.3628	8	B
TYP3	207.0188	163.5359	8	A

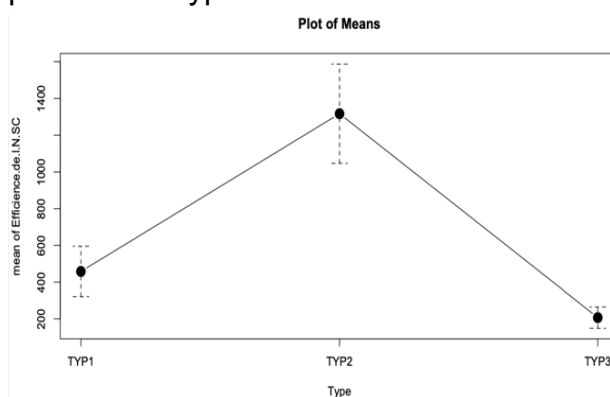


Figure 15: Répartition moyenne de l'efficacité azotée

5.2.2- Émission de dioxyde de carbone équivalent par an (CO₂-éq an⁻¹)

L'ANOVA présentée dans le tableau ci-dessous (tab. 5) montre que les différences ne sont pas significatives entre les trois types. Par contre, l'émission de GES est plus

élevée au niveau des EA du type 3 (1,417750 tonne CO₂-éq an⁻¹) et plus petite dans le type 1 (0,797875 tonne CO₂-éq an⁻¹). La quantité de CO₂-éq émise est liée au nombre de bovins. Car, le type 3 cumule le plus grand nombre de bovins, ensuite viennent les types 2 et 1 (tab. 2).

Tableau 5: ANOVA de l'émission de CO₂-éq

	Mean (tCO ₂ -éq)	Sd	N	
TYP1	0.797875	1.284800	8	A
TYP2	1.044250	1.191033	8	A
TYP3	1.417750	1.308073	8	A

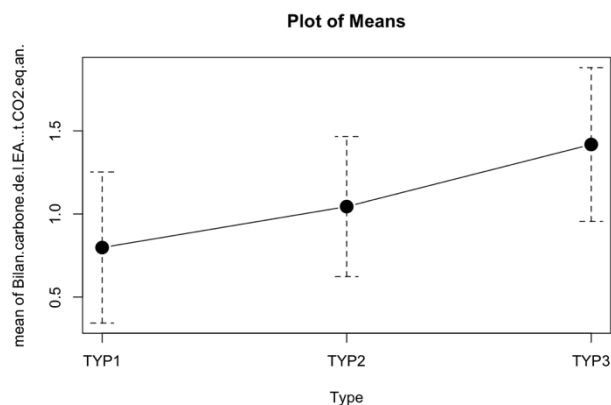


Figure 16: Répartition moyenne de l'émission de CO₂-éq par type

5.2.3- Recouvrement des besoins des ménages (RecBesM) en calories

Il existe une différence significative entre les trois types pour cet indicateur (voir fig. 17 & tab. 6). Le type 1 présente un taux de couverture de 48,52%, le taux de couverture des types 3 et 2 sont respectivement 38,67% et 8,95%. Les EA du type 2 sont celles qui s'orientent beaucoup plus vers la culture de la canne-à-sucre : certaines d'entre elles ne cultivent que la canne (tab. 2). Les types 1 et 3 produisent des cultures vivrières diversifiées. Donc, le taux de couverture des besoins caloriques des ménages agricoles par l'autoconsommation de récoltes est plus élevé dans les EA où la SAU des cultures vivrières est la plus élevée par rapport à la SAU des parcelles de canne.

Tableau 6: ANOVA RecBesM

	Mean (%)	Sd (%)	N	
TYP1	48.52625	17.6083	8	B
TYP2	8.95375	15.3776	8	A
TYP3	38.67500	36.8773	8	AB

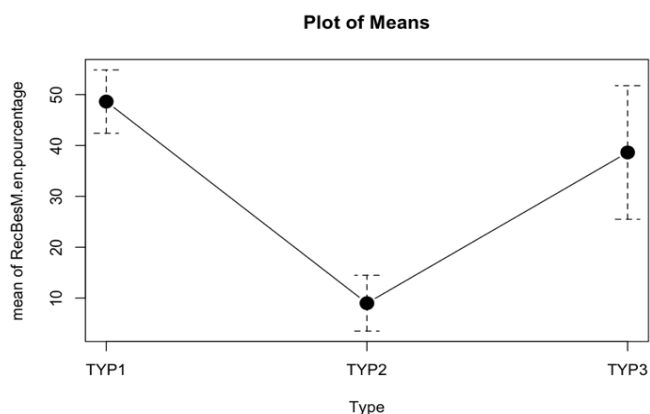


Figure 17: Répartition moyenne du taux de RecBesM par type

5.2.4- Productivité de la terre et valeur ajoutée nette par hectare (VAN / ha)

L'ANOVA affichée dans le tableau ci-dessous (tab. 7) montre qu'il existe une différence significative entre les trois types pour cet indicateur. La productivité de la terre est de 136677 HTG pour le type 1. Les EA du type 2 sont celles qui présentent

en moyenne le deuxième meilleur score 108067,5 HTG. Ensuite viennent les EA du type 3 affichant le plus petit score avec 54612,5 HTG.

Tableau 7: ANOVA de la productivité de la terre

	Mean (HTG)	Sd	N	
TYP1	136677.0	71316.24	8	B
TYP2	108067.5	44979.28	8	AB
TYP3	54612.5	16761.04	8	A

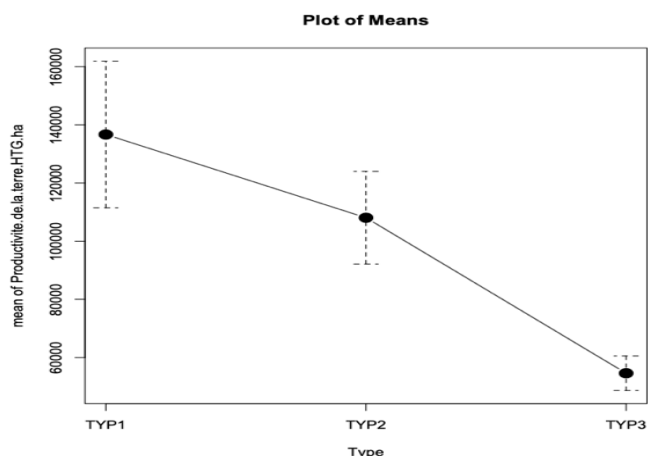


Figure 18: Répartition moyenne de la productivité de la terre

Quant à la VAN / ha, elle suit la même allure que pour la productivité de la terre. Elle est de 134693.20 HTG pour le type 1, 105246.82 HTG pour le type 2 et 52907.68 HTG (voir tab. 8 et fig. 19).

Tableau 8: ANOVA VAN / ha

	Mean (HTG)	Sd	N	
TYP1	134693.20	71514.38	8	B
TYP2	105246.82	45161.98	8	AB
TYP3	52907.68	16687.91	8	A

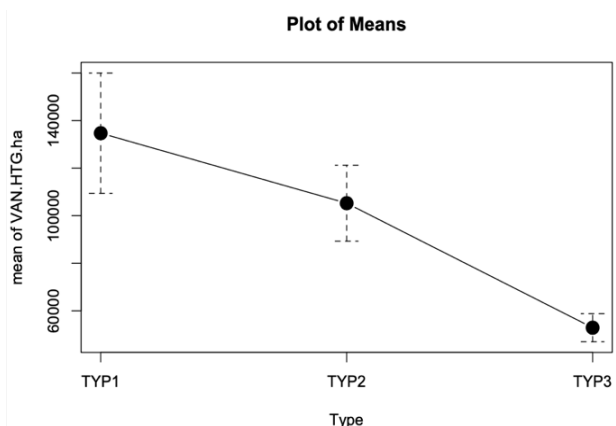


Figure 19: Répartition moyenne de la VAN / ha

5.2.5- Revenu agricole et valorisation de la journée de travail

Le revenu agricole et la valorisation de la journée de travail sont respectivement présentés dans les tableaux (tab. 9 & 10) et figures (fig. 20 & 21) suivants.

Tableau 9: ANOVA revenu agricole

	Mean (HTG)	Sd	N	
TYP1	416434.2	298481.32	8	B
TYP2	249399.1	124310.88	8	AB
TYP3	130504.1	79576.36	8	A

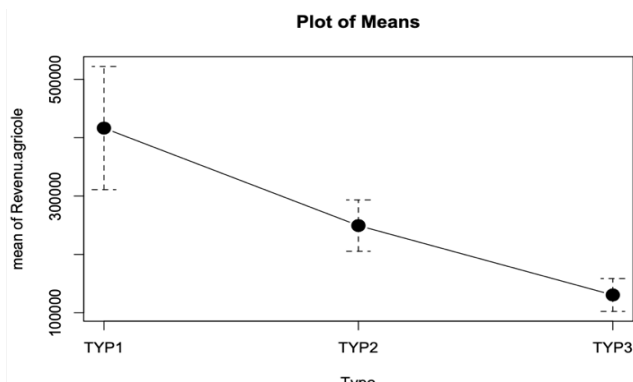


Figure 20: Répartition moyenne du revenu agricole par type

Tableau 10: ANOVA valorisation de la journée de travail

	Mean (HTG)	Sd	N	
TYP1	919.75	633.10273	8	B
TYP2	448.25	153.71565	8	AB
TYP3	224.00	98.95454	8	A

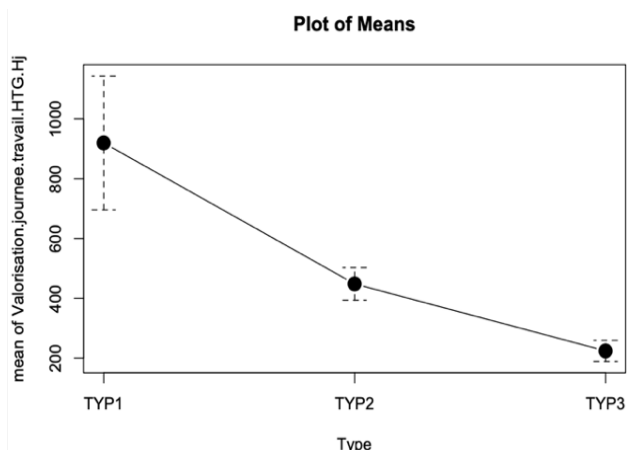


Figure 21: Répartition moyenne de la valorisation de la journée de travail

Les différences sont significatives entre les types. Les EA du type 1 ont les revenus les plus élevés et la meilleure valorisation de la journée de travail. Ensuite viennent les types 2 et 3.

En résumé, le diagnostic a permis de comprendre le fonctionnement global des EA et d'apprécier les performances technico-économiques des différents types étudiés.

L'effet des types est très prononcé. Certains types sont plus performants que d'autres. C'est le cas du type 2 qui est plus performant en termes de production de biomasse et le type 1 en termes de revenu.

5.3- Scénarios conçus par les agriculteurs

De nouveaux scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances technico-économiques des EA ont été conçus par les agriculteurs (voir tab. 11 & 12). Les principales raisons qui auraient incité les agriculteurs de Saint Michel à apporter ces changements afin de faire face au changement climatique sont :

Effets de voisinage : plusieurs agriculteurs ont avoué qu'ils veulent apporter des changements sur leurs parcelles, juste parce qu'ils ont été influencés par les performances des EA voisines.

« Je vais rentrer dans la canne parce que la majorité des agriculteurs la cultivent, et ils trouvent de bons résultats. J'ai un autre morceau de terre, je vais la cultiver en canne » (verbatim d'un agriculteur).

Nécessité de répondre à des besoins alimentaires : face au contexte évolutif du marché haïtien où les prix des produits alimentaires tendent à augmenter sans précédent, certains producteurs de canne veulent valoriser des lopins de terre en cultures vivrières afin de faire aux contraintes alimentaires.

« Nous cultivons beaucoup la canne. Mais, la marmite du riz coûte tellement cher ! En plus, personne ne peut oser acheter un lot de banane sur le marché. Il est vrai que je continuerai à cultiver la canne, mais il faut que j'accède à un morceau de terre

afin de cultiver la banane et la papaye et un autre morceau pour y mettre le maïs, le pois Congo et le sorgho » (verbatim d'un agriculteur).

Par héritage : selon un jeune agriculteur de Saint Michel, la façon dont les anciens ont l'habitude de travailler jouent un rôle crucial dans les choix des systèmes à mettre en place aujourd'hui.

« Agro, je suis venu et j'ai vu que mon père avait l'habitude de cultiver la canne, le pois Congo et le maïs dans la savane. Des fois il cultive le riz. À cause de ça, je les cultive dans mes parcelles. Et puis, c'est ce que fait la plupart des agriculteurs de la zone » (verbatim d'un agriculteur).

Prix élevé des prestations de labour : certains agriculteurs veulent renforcer leur SE, notamment en bovins afin d'avoir recours à des moyens qui puissent faciliter les travaux nécessitant la force de travail des bêtes de somme. Car, ils se plaignent sur le fait que les services de labourage sont chers au début des campagnes agricoles. Même si un agriculteur de Saint Michel de l'Attalaye aura voulu acheter des vaches pour augmenter la taille de son troupeau, en retour il espérera que des taureaux soient nés lors des mises-bas.

« Le paysan qui ne possède pas une paire de bœufs à traction fait face à de nombreuses difficultés pour travailler la terre, surtout dans les saisons où tout le monde a besoin de travailler. Et puis, le coût est trop élevé pour chariter la terre. L'année passée, j'ai payé 25 000 gourdes pour deux coups de charrue. Avant longtemps, même un seul, il faut que j'achète un bœuf à traction. Je pourrai louer un autre pour pouvoir travailler avec » (verbatim d'un agriculteur).

Tableau 11: Comparaison des deux scénarios

EA	Contexte du diagnostic (SC0)						Nouveaux scénarios (SC1)					
	SAU SC	SAU SE	SAU canne	Actifs perm	Nbre bovins	Coût intrants / ha (HTG)	SAU SC	SAU SE	SAU canne	Actifs perm	Nbre bovins	Coût intrants / ha (HTG)
TYP1-AT1	3,73	0,5	0	3	0	16410	4,73	0,5	1	4	2	15583
TYP1-AT2	3,87	0,645	0	1	2	14394	8,385	0,645	2,58	1	2	13146
TYP1-L3	5,16	0,645	3,225	1	3	12938	8,385	0,645	5,16	2	3	12269
TYP2-C1	3,225	0,3225	2,58	4	2	1320	5,16	0,645	3,87	4	4	3012
TYP2-C2	1,935	0	1,935	2	1	0	3,225	0,645	1,935	2	3	7700
TYP2-C6	5	0,5	3	3	0	0	6,29	0,5	3	3	2	4461
TYP3-AT1	3,225	1,935	0	5	0	2818	7,74	0,645	3,225	6	3	2008
TYP3-AT4	4,8375	0,645	2,2575	4	3	2801	8,0625	0,645	4,8375	4	3	2802
TYP3-AT8	3,225	0,645	1,29	4	2	3790	5,16	0,645	1,935	5	3	4833

Tableau 12: Scénarios conçus par les agriculteurs

Types	Scénarios conçus par les agriculteurs
Type 1	TYP1-AT1: Une parcelle en canne (1 ha); 2 bovins à traction sur l'espace où se trouve les caprins ; Augmentation de la production du compost.
	TYP1-AT2: Nouvelle parcelle en banane & papaye (0,645 ha); parcelle en canne (2,58 ha); Parcelle maïs & sorgho (pa pè lesèk) & pois inconnu & pois congo (1,29).
	TYP1-L3: Une nouvelle parcelle en canne (1,935 ha); Une nouvelle parcelle en banane & papaye (1,29 ha); Augmentation de la production de compost & usage de bagasse pour chauffage du jus de canne.
Type 2	TYP2-C1: nouvelle parcelle en canne (1,29 ha); parcelle en banane & haricot (0,645 ha); 2 vaches
	TYP2-C2: 3 bovins à traction de plus (0,645 ha); parcelle en banane & igname (0,645) & manioc (0,645 ha).
	TYP2-C6: Valorisation d'une parcelle de 1,29 ha proche d'un cours d'eau en banane & papaye; 2 vaches en plus.
Type 3	TYP3-AT1: Reprise de la culture de patate douce (1,29 ha dans les 1,935 ha en élevage); parcelle en canne (3,225 ha); 1 vache et deux taureaux à traction.
	TYP3-AT4: Culture arachide + maïs + sorgho pa pè lesèk + pois congo (0,645 ha) ; Nouvelle parcelle en canne (2,58 ha).
	TYP1-AT8: Nouvelle parcelle en canne (0,645 ha); parcelle en riz + pois congo (1,29 ha); 1 vache sur la SAU en élevage.

Résultats comparés entre les deux scénarios

Les figures à boîtes à moustache qui suivent mettent en comparaison les deux scénarios : (i) les scénarios du contexte de diagnostic (SC0) et les nouveaux scénarios conçus par les agriculteurs (SC1).

5.3.1- Biomasse produite et efficience azotée

En comparant ces deux scénarios (SC0 & SC1), la production de biomasse par hectare augmente de SC0 à SC1 au niveau des EA des type 1 et 3, (fig. 22). Cette augmentation est due à une augmentation de la SAU en canne au niveau des EA (voir tab. 11). En revanche, cette production de biomasse à l'hectare diminue de SC0 à SC1 dans le type 2. Mais en moyenne, le type 2 affiche tout de même le meilleur score comparé aux autres types.

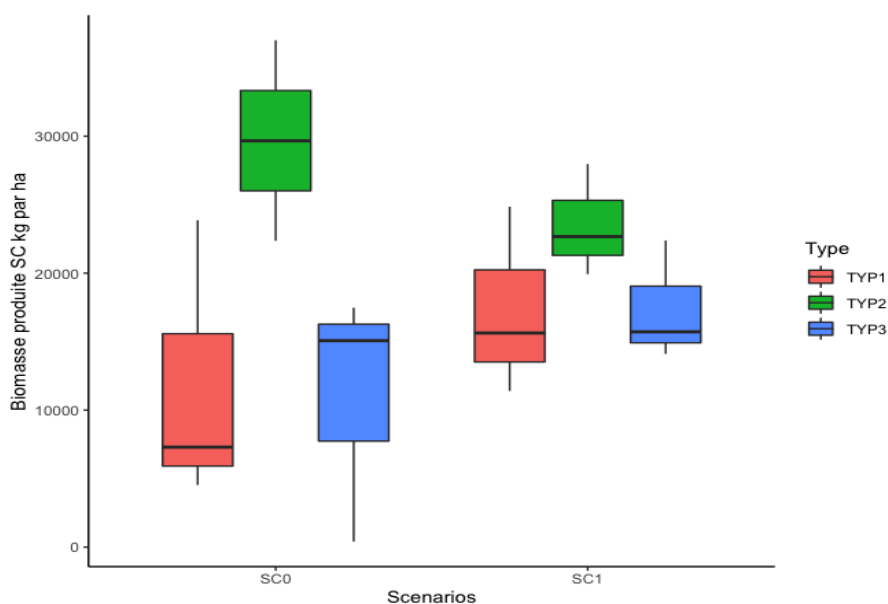


Figure 22: Évolution de la production de biomasse entre les deux scénarios

Certes, les superficies en culture de tous les types confondus augmentent dans SC1 (voir tab. 12), mais la majorité des parcelles seront valorisées par d'autres cultures n'étant pas plus performantes que la canne en termes de production de biomasse. L'évolution de l'efficacité azotée illustrés ci-dessous (fig. 23) est en lien avec la SAU des parcelles en canne dans les trois types. L'efficacité azotée augmente dans les types 1 et 3, tandis qu'elle diminue dans le type 2 de SC0 à SC1.

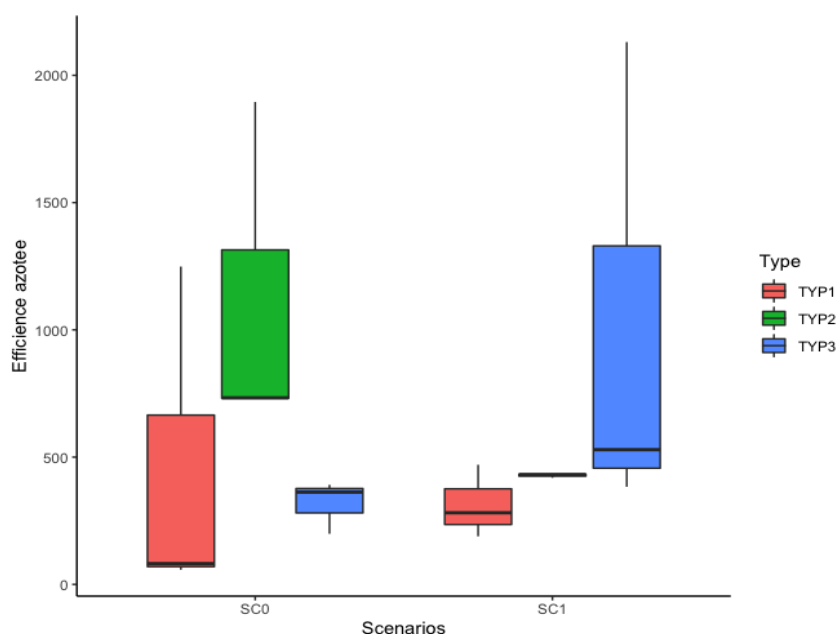


Figure 23: Évolution de l'efficacité azotée entre les deux scénarios

5.3.2- Émission de dioxyde de carbone équivalent par an (CO₂-éq an⁻¹)

En comparant les deux scénarios (fig. 24), l'émission de GES augmente de SC0 à SC1 pour tous les types. Car, les agriculteurs augmentent la taille de leur troupeau notamment en bovin.

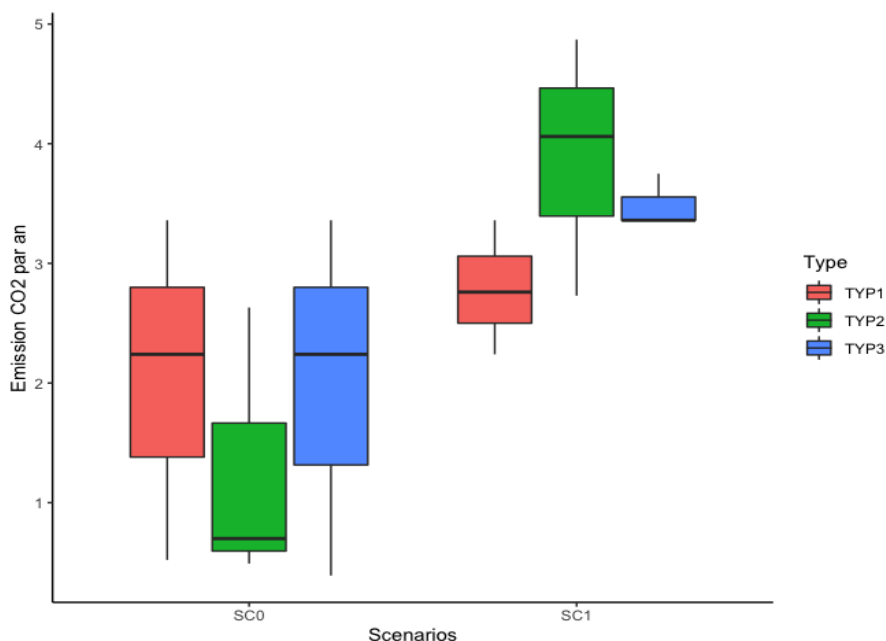


Figure 24: Évolution de l'émission de CO2-éq entre les deux scénarios

5.3.3- Recouvrement des besoins des ménages (RecBesM) en calories

Les agriculteurs prévoient de diversifier encore plus leurs systèmes de production agricole en vue d'augmenter la part de l'autoconsommation dans le recouvrement des besoins alimentaires des ménages. C'est le cas de quelques agriculteurs du type 2 à Camathe qui veulent cultiver de la banane, de la papaye et du haricot proche de certains cours d'eau dans des zones accessibles (voir tab. 12).

Dans l'ensemble, le taux de RecBesM augmente de SC0 à SC1 (fig. 25). Mais ce taux est en moyenne plus élevé dans les EA du type 1.

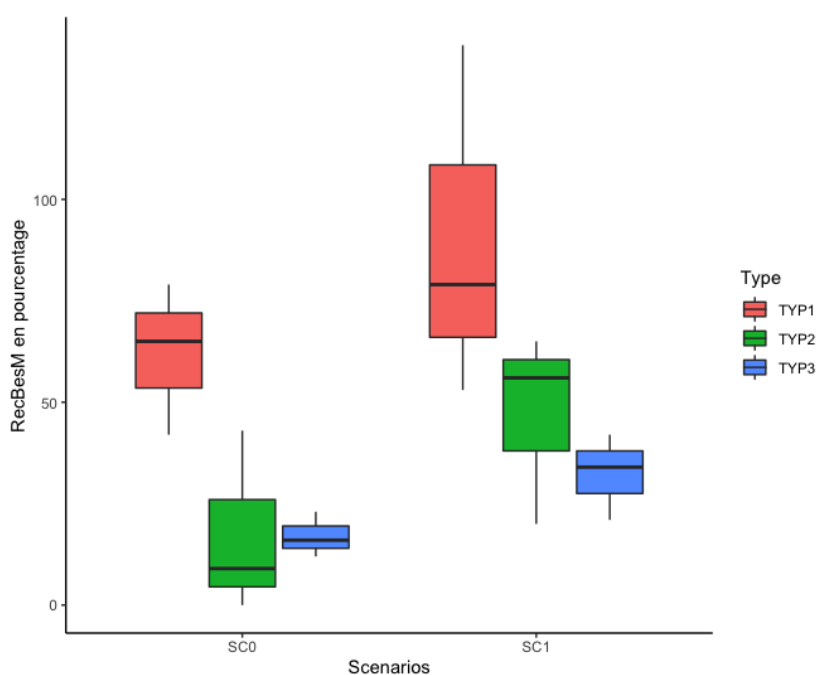


Figure 25: Évolution du taux de RecBesM entre les deux scénarios

5.3.4- Productivité de la terre, valeur ajoutée nette par hectare, revenu agricole et valorisation de la journée de travail

La productivité de la terre et la VAN / ha sont améliorées au niveau des types 2 et 3 en SC1 (fig.26 & 27). Mais dans les deux cas (SC0 et SC1), le type 1 présente en moyenne la meilleure performance, suivie des types 2 et 3, bien que le type 1 ne progresse pas beaucoup en SC1.

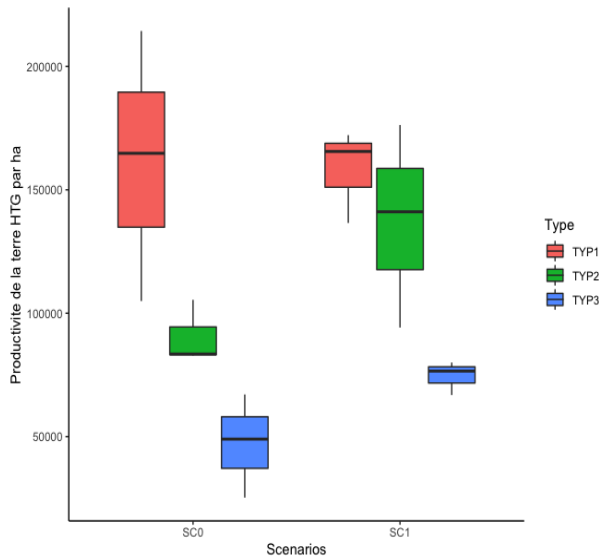


Figure 26: Évolution de la productivité de la terre entre les deux scénarios

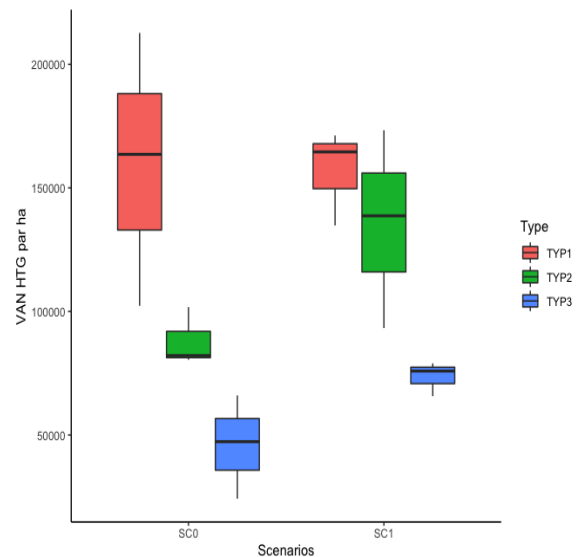


Figure 27: Évolution de la VAN / ha entre les deux scénarios

Les deux autres indicateurs indiqués dans les figures ci-dessous (*revenu agricole et valorisation de la journée de travail*) sont nettement améliorés dans SC1 par rapport à la situation initiale (SC0).

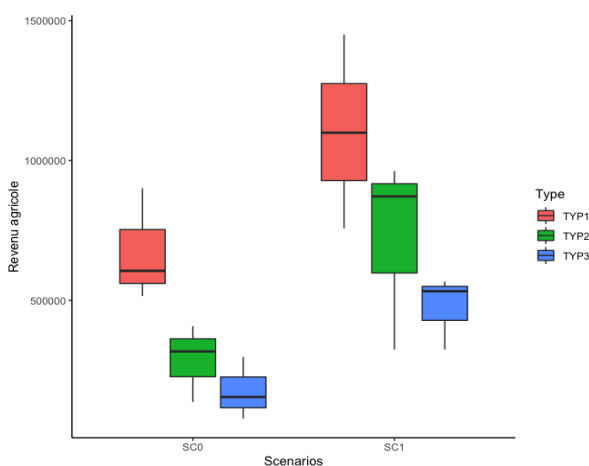


Figure 29: Évolution du revenu agricole entre les deux scénarios

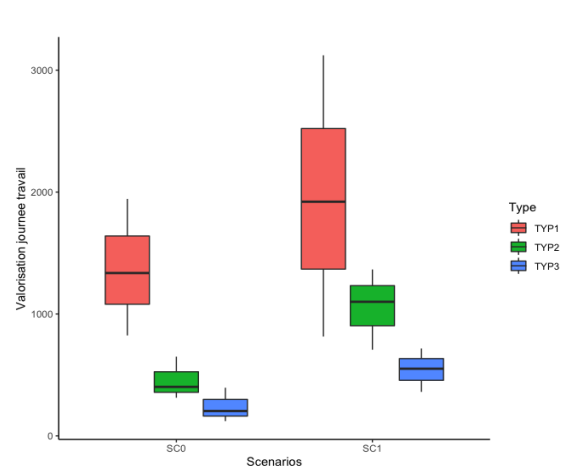


Figure 28: Évolution de la valorisation de la journée de travail entre les deux scénarios

En résumé, hormis la production de biomasse et l'efficacité azotée qui diminuent, tous les autres indicateurs connaissent des améliorations de SC0 à SC1.

6. DISCUSSIONS

Ce chapitre va répondre à la problématique et tâche de présenter les intérêts et limites des méthodes appliquées.

6.1- Quel est l'état des lieux des performances technico-économiques des exploitations agricoles de Saint Michel de l'Attalaye ?

La canne-à-sucre est une culture très performante en termes de *production de biomasse à l'hectare* et *d'efficacité azotée*. Lorsque la SAU en canne est élevée dans une EA, la production de biomasse à l'hectare le sera aussi (voir chapitre résultats). Les résultats obtenus dans la commune de Saint Michel de l'Attalaye pour ces deux indicateurs rejoignent une publication de Pouzet (2006), selon laquelle la canne-à-sucre est l'une des plantes la plus efficace en ce qui a trait à la production de matière carbonée renouvelable en région tropicale. Son potentiel de production de biomasse est parmi les plus élevés.

Il n'existe aucun type qui présente un pourcentage de couverture de besoins caloriques dépassant 50% par l'autoconsommation des produits récoltés (tab. 6). Plusieurs raisons peuvent expliquer cette situation. D'abord, une partie des récoltes des EA est destinée à la vente sur le marché local. En outre, l'augmentation graduelle des importations de produits alimentaires fait que les habitudes alimentaires des ménages haïtiens changent considérablement (Pressoir et al., 2016).

Les EA en Haïti sont dotées des matériels agricoles rudimentaires (Dufumier, 1988). C'est pourquoi, la VAN / ha des EA de Saint Michel de l'Attalaye est rapprochée de celle de la productivité de la terre dans tous les trois types (tab. 7 et 8). Étant donné que la VAN est la différence entre la valeur ajoutée brute (VAB) et l'amortissement total des matériels fixes, et que l'amortissement est faible, il est logique que la VAN soit proche de la VAB.

Les EA de Saint Michel de l'Attalaye sont de petites exploitations familiales de subsistance dotées de faibles moyens de production, n'utilisant pas d'intrants synthétiques, utilisant des ressources de la ferme pour nourrir le troupeau, renouvelant la fertilité des sols par l'application de compost et la vaine pâture, édifiant des structures antiérosives en zone de pente, décalant les dates de semis et émettant de faible quantité de GES. D'une manière générale, les systèmes de productions agricoles de Saint Michel de l'Attalaye sont tous sur la voie d'adaptation au changement climatique.

Par contre, les types contenant des EA proactives présentent les meilleures performances technico-économiques. En effet, le type 1 est performant en termes de revenu et ResBesM. Ce sont des EA proactives, dont les productions sont tournées vers le marché et l'autoconsommation. Les EA du type 1 sont diversifiées et mixtes : c'est-à-dire en plus de la canne, il y a d'autres cultures dont les prix de vente sont

avantageux sur le marché : banane, papaye, et des cultures vivrières dont une partie des récoltes est autoconsommée : maïs, pois Congo, tubercules...

Cette étude montre que les agriculteurs qui cultivent la canne et ayant des parcelles en banane/papaye obtiennent une meilleure valorisation de la journée de travail par homme-jour. Les exploitants du type 1 sont les seules qui dépassent le seuil du salaire minimum d'un agriculteur en moyenne (tab. 10). Car, le salaire journalier minimum d'un agriculteur haïtien est actuellement fixé à 540 HTG (Haïti libre, 2022).

Le type 2 au sein duquel la valorisation de la journée de travail est de 448 HTG par homme-jour est proche de ce seuil. Ces EA sont plus orientées vers la canne. Il existe d'autres sources de revenus offertes par les activités de production de sirop et de clairin que les agriculteurs n'arrivent pas à comptabiliser, mais qui représentent un pilier important dans la vie économique des ménages.

Les EA du type 3 sont nettement en dessous du seuil. La valorisation de la journée de travail (224 HTG) représente seulement 41% du salaire journalier minimum d'un agriculteur haïtien. S'agit-il d'une *mal-adaptation économique* (Magnant, 2013) parce que l'initiative d'adaptation tend à générer la pauvreté ? Il est important de comprendre que les EA du type 3 mobilisent plus d'actifs permanents (tab. 2). Car les SC associés (riz pluvial x pois congo ; maïs x pois congo x pois inconnu etc.) sont exigeants en main d'œuvre. Les agriculteurs choisissent de cultiver ces espèces parce qu'elles sont mieux adaptées à leurs contextes agricoles, financier et alimentaire. Ces choix tendent à répondre à des objectifs précis des agriculteurs. Donc, sous réserve, il mal-adaptation économique pour le type 3.

Les exploitants agricoles de Saint Michel de l'Attalaye n'épandent pas d'engrais synthétiques sur leurs parcelles, bien qu'il soit possible de trouver des exceptions. Mais, dans l'ensemble, les EA émettent des GES tous types confondus.

Pour répondre à la première question de recherche, il revient à conclure que la quasi-totalité des indicateurs d'évaluation des performances technico-économiques présentent des différences significatives entre les types. Les EA proactives présentent les meilleures performances technico-économiques. Donc l'hypothèse de départ associée à la première question de recherche est validée pour tous les indicateurs d'évaluation sauf pour l'émission de dioxyde de carbone équivalent.

L'évaluation de la « production de biomasse à l'hectare » a permis de repérer des potentialités distinctes de la canne-à-sucre parmi les autres cultures rencontrées à Saint Michel de l'Attalaye. Il est vrai que la bagasse de canne est valorisée à Saint Michel de l'Attalaye comme source d'énergie dans la production de sirop/clairin et comme matière première pour fabriquer du compost, mais il existe d'autres opportunités qui peuvent être envisagées. La culture de la canne-à-sucre peut ouvrir la voie à des programmes de recherche-action visant à trouver des alternatives de production de bioénergie efficaces.

La limite de la méthode appliquée réside par le fait que les calculs de la production de biomasse et l'efficacité azotée ont uniquement tenu compte des SC. Ces indicateurs n'ont pas été mesurés dans les SE.

6.2- Quels scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles à co-concevoir entre les types ?

La littérature scientifique décrit plusieurs méthodes de co-conception de scénarios visant à améliorer les performances d'un système agricole. Cette partie de la discussion s'occupe de montrer si les scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles co-conçus visent à faire face au changement climatique et à d'autres enjeux de sécurité alimentaire.

D'une manière générale, les nouveaux scénarios pensés par les agriculteurs relèvent d'une « *conception pas à pas* » décrite par Meynard et al., (2012). Car, les exploitants n'envisagent pas de renoncer à leurs anciens systèmes de production, mais désirent y intégrer des changements de manière progressive.

L'étude étant centrée sur la problématique du changement climatique ; et le fait que le processus se soit appuyé sur la modélisation rapproche la démarche de la « *conception d'études de cas* » décrite par Lacombe et al., 2018.

La méthode de modélisation appliquée dans cette étude consistait à simuler des scénarios. La simulation nous a permis de tester les résultats éventuels des scénarios conçus et d'apprécier les impacts des changements apportés (MOULIN, Charles Henri, 2022).

Nous pouvons conclure que les scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles conçus par les agriculteurs sont différents entre les types. Ces scénarios visent à faire face au changement climatique et à d'autres enjeux de sécurité alimentaire. Donc, la deuxième hypothèse est confirmée.

6.3- Les systèmes de culture et/ou d'élevage de Saint Michel de l'Attalaye, sont-ils tous sur la voie d'adaptation au changement climatique ?

Contexte du diagnostic

Ne voulant pas rompre avec leurs anciens systèmes de production, les exploitants de Saint Michel de l'Attalaye entreprennent une voie *d'adaptation incrémentale* qui pourrait aboutir à une *adaptation transformationnelle* visant à modifier les attributs fondamentaux d'un système en réponse au climat et à ses effets (GIEC, 2018).

Cas des nouveaux scénarios

La simulation des nouveaux scénarios montre que la biomasse produite et l'efficacité azotée sont améliorées dans les types 1 et 3, mais connaissent une régression dans le type 2 (voir chapitre résultats). Cette régression du type 2 n'est pas l'expression d'une mal-adaptation. Car, ce sont EA qui veulent ajouter des systèmes de cultures vivrières à côté de la canne-à-sucre. Ces cultures-là ne sont pas aussi performantes que la canne en termes de production de biomasse et efficacité azotée, mais elles ont

l'avantage d'être très demandées sur le marché et seront utiles à l'autoconsommation des ménages.

La quasi-totalité des EA de Saint Michel de l'Attalaye veulent augmenter la taille de leur cheptel, notamment en bovin, mais en gardant les mêmes anciennes règles de conduite. Du coup, l'émission de GES est augmentée dans tous les types en moyenne. Donc, il y aura une *mal-adaptation environnementale* (Magnant, 2013), car cette stratégie d'adaptation ne tiendra pas compte des potentielles menaces du changement climatique.

Quant aux indicateurs : *recouvrement des besoins des ménages (RecBesM) en calories, productivité de la terre, valeur ajoutée nette par hectare, revenu agricole et valorisation de la journée de travail*, la simulation des scénarios montre que leurs performances sont améliorées.

Donc, la troisième hypothèse est confirmée dans les nouveaux scénarios : les EA sont tous adaptées en termes de performances technico-économiques. Mais le fait qu'il y ait une augmentation des émissions de GES, elles sont mal-adaptées du point de vue environnementale.

Les changements que les agriculteurs consentent d'apporter dans leurs EA découlent des objectifs qu'ils veulent atteindre. C'est pourquoi, dans des démarches de conception de systèmes innovants, les agriculteurs doivent être au centre des innovations. Ils sont les mieux placés pour repérer et agir contre les difficultés auxquels ils font face. La limite de cette méthode de co-conception, c'est que les modèles de simulation n'ont pas été restitués aux agriculteurs à cause de l'échéance du stage qui a été limitée. En plus, le nombre des agriculteurs a été peu représentatif.

CONCLUSION

Ce travail de recherche permet de comprendre le fonctionnement global des EA et d'apprécier les performances technico-économiques des différents types étudiés. Les EA de Saint Michel de l'Attalaye sont de petites exploitations familiales de subsistance dotées de faibles moyens de production en termes de capital : les agriculteurs n'utilisent pas d'intrants synthétiques ; il y a des transferts de matières en permanence entre les différentes composantes des EA ; en zone de pente, les agriculteurs édifient des structures antiérosives et mobilisent d'autres techniques pour neutraliser l'érosion ; les dates de semis sont décalées ; ces EA émettent de faible quantité de GES à l'hectare. Par conséquent, cette panoplie de techniques et de pratiques mobilisées traduit l'expression d'une communauté d'exploitants agricoles qui cherche à s'adapter au changement climatique en dépit de leurs faibles ressources.

L'effet des types est très prononcé. Certains types sont plus performants que d'autres : c'est le cas du type 1 qui est plus performant économiquement par rapport aux autres. Tandis qu'en terme de production de biomasse et d'efficacité azotée, c'est le type 2 qui est le plus performant.

L'étude relate que les changements que les agriculteurs consentent d'apporter dans leurs EA découlent des objectifs qu'ils veulent atteindre. Ces objectifs peuvent évoluer avec les contraintes socio-économiques et politiques du pays. C'est pourquoi, les scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles conçus par les agriculteurs sont différents entre les types.

Le calcul de la « production de biomasse à l'hectare » suscite la réflexion sur d'autres potentialités de la canne-à-sucre. Cette culture peut ouvrir la voie à des programmes de recherche-action pour la production de bioénergie.

Ce travail de recherche devrait être suivi par la mise en épreuve des artefacts conçus par les agriculteurs dans des travaux d'expérimentation afin d'évaluer les performances des nouveaux scénarios, et de repérer les potentielles modifications/combinaisons les plus prometteuses.

C'est la raison pour laquelle qu'il y aura des innovations variétales pour améliorer la résilience des SC aux risques climatiques dans le WP3 ; et des innovations pour améliorer la résilience de l'élevage aux risques climatiques dans le WP4.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), 2022. Disponible sur internet : <https://expertises.ademe.fr/agriculture-foret/production-agricole/chiffres-cles-observations/biomasse-agricole> [consulté le 17/09/2022].
- Andrieu N., Blundo-Canto G., Chia, E., Diman J. L., Dugué P., Fanchone A., Howland F., Ott S., & Poulayer C., 2022. Scenarios for an agroecological transition of smallholder family farmers : A case study in Guadeloupe. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(5), 95. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00828-x>
- Andrieu N., 2004. Diversité du territoire de l'exploitation d'élevage et sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques : étude empirique et modélisation. Paris : INA-PG, 314 p. Thèse de doctorat : Agronomie : Institut national agronomique Paris-Grignon
- Andrieu N., Barbier J.M., Delmotte S., Dugué P., Hossard L., et al., 2018. Co-conception de changements techniques et organisationnels au sein des systèmes agricoles. *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires*, Editions Quae, 259 p., 2018, Synthèses (Quae), 978-2-7592-2812-6 978-2-7592-2813-3. (hal-02791399)
- Andrieu N., Howland F., Acosta-Alba I., Le Coq J.-F., Osorio-Garcia A. M., Martinez-Baron D., Gamba-Trimiño C., Loboguerrero A. M., & Chia E., 2019. Co-designing Climate-Smart Farming Systems With Local Stakeholders: A Methodological Framework for Achieving Large-Scale Change. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 37. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00037>
- Barnett J., & O'Neill S., 2010. Maladaptation. *Global Environmental Change*, 20(2), 211-213. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.11.004>
- Bougouma K., Jaquet S., Bonometti P., Derenoncourt E., Ghosh A., Achicanoy A., Esquivel A., Saavedra C., Ramirez-Villegas J., Mayzelle M., Savelli A., Grosjean G., 2021. PAM Initiative Interne Primordiale: Analyse de la Réponse pour l'Adaptation Climatique Haïti. L'Alliance de Bioversity International et le Centre International de l'Agriculture Tropicale; Programme Alimentaire Mondial. 68 p.
- Brunelle T., 2015. *Vers une prospective des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire : Les enseignements du 5ème rapport du GIEC*. 15.
- Chérélus T., 2016. Comprendre l'adaptation dans la lutte contre le changement climatique en Haïti. M2 Adaptation aux Changements Environnementaux et Climatiques, Université Versailles Saint-Quentin en Yvelines OVSQ/PARIS-SARCLAY/France, juillet 2016, 7 pp. Disponible sur internet : http://classiques.uqac.ca/contemporains/cherilus_Thony/mal-adaptation_reponses/mal-adaptation_reponses.html
- Chibas-UniQ-CIRAD, 2018. Sen Michèl pa pè lesèk. Co-conception et développement d'un programme de recherche-formation-vulgarisation agricole sur l'adaptation au changement climatique dans la zone de Saint Michel de l'Attalaye. *Proposition technique PMDN*.
- Cochet, H., Devienne, S., 2006. Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. *Cahiers Agricultures*, EDP Sciences, 2006, 15 (6), pp.506-513. 10.1684/agr.2006.0028. hal-02527760
- Cochet H., Ducourtieux O., & Garambois N., 2019. *Systèmes agraires et changement climatique au Sud*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2920-8>
- D'Ercole R., 1994. *Approches de la vulnérabilité et perspectives pour une meilleure logique de réduction des risques*. 10.
- Dufumier M., 2004. *Agricultures et paysanneries des Tiers mondes*. Karthala. <https://doi.org/10.3917/kart.dufu.2004.01>
- Dufumier, M., 1988. Pénurie alimentaire, agriculture paysanne et politique agricole en Haïti. In: *Économie rurale*. N°188, 1988. pp. 26-31. Disponible sur internet : <https://doi.org/10.3406/ecoru.1988.3938> ; https://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1988_num_188_1_3938 [consulté le 11/04/2022].
- Eckstein D., Künzel V., & Schäfer L., 2021. *GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2021*.

- Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire & Groupe de Recherche et d'Échange Technologique (FAMV & GRET), 1990. *Manuel d'Agronomie tropicale appliquée à l'Agriculture haïtienne*. Damien, Port-au-Prince, Haïti.
- FAO, 2015. L'après 2015 et les ODD : nourrir les humains et prendre soin de la planète.
- FAO, 2016. L'avenir de l'alimentation et de l'agriculture : Tendances et défis
- FAO. 2018. Les 10 éléments de l'agroécologie : *Guider la transition vers des systèmes alimentaires et agricoles durables*.
- FAO. 2021. *World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>
- Fernández J., López T., Sigarrosa A., Gálvez, G. Modelación de cultivos agrícolas. Algunos ejemplos. *Cultivos Tropicales* [en línea]. 2010, 31(3), 60-65 [fecha de Consulta 6 de Octubre de 2022]. ISSN: . Disponible sur internet : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217921012>
- Fleurant M.-M., 2020. Les changements climatiques à Haïti : pour la résilience socio-écologique des populations par l'adaptation dans le domaine de l'agriculture. Possibilités et limites du droit interne et international. Thèse de doctorat en droit. Université Laval. p.89. Spinat : <https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/66597/1/36257.pdf> [consulté le 12/09/2021].
- Geels F.W., Schot J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Res. Policy* 36 (3), 399–417. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>.
- GIEC, 2014 : Résumé à l'intention des décideurs. In: *Changements climatiques 2014, L'atténuation du changement climatique. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et J.C. Minx]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- GIEC, 2014a : *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pages (publié en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol, en français et en russe).
- GIEC, 2018: Annexe I: Glossaire [Matthews, J.B.R. (éd.)]. Dans: Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield]. Sous presse.
- GIEC, 2022 : Changements climatiques 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. <https://report.ipcc.ch/ar6wg2/>
- Goulet F., Pervanchon F., Conteau C. & Cerf M., 2008. Les agriculteurs innovent par eux-mêmes pour leurs systèmes de culture. Dans : Raymond Reau éd., *Systèmes de culture innovants et durables: Quelle méthode pour les mettre au point et les évaluer ?* (pp. 53-69). Dijon cedex: Educagri éditions. <https://doi.org/10.3917/edagri.reau.2008.01.0053>
- Haïti libre, 2022. Disponible sur internet : <https://www.haitilibre.com/article-36009-haiti-flash-salaires-minimum-le-gouvernement-reajuste-a-la-hausse-version-finale-officiel.html#:~:text=Salaires%20minimum%20propos%C3%A9%20%3A%20540%20Gourdes>.

[cosm%C3%A9tiques%20et%20de%20v%C3%AAtements%20%5B%E2%80%A6%5D](#)
[consulté le 17/09/2022].

- Hatchuel A., Le Masson P., Weil B., 2006. *Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises*, Hermès, Paris.
- Hill R., Capper P., Wilson K., Whatman R., Wong K., 2007. Workplace learning in the New Zealand apple industry network: A new co-design method for government "practice making.". *J. Work. Learn.* 19 (6), 359–376. <http://dx.doi.org/10.1108/13665620710777101>.
- Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique (IHSI). Projection de la population par la section communale de 2009. Disponible sur internet : <https://www.humanitarianresponse.info/fr/operations/haiti/document/projection-de-la-population-par-la-section-communale-de-2009-ihsi> [consulté le 11/12/2021].
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Joseph C. et Saffache, P., 2018 : L'importance des écosystèmes forestiers et les enjeux de la déforestation dans la lutte contre le changement climatique en Haïti. *Cas des mangroves du Parc des Trois Baies, des forêts des massifs de la Selle et de la Hotte*. Haïti.
- Joseph C., Nizigiyimana A., Rival J.R., Drieux É., Sinitambirivoutin M., Dion P., Mbodj A., Bernoux M., 2022. État des lieux des politiques, études et projets relatifs à l'adaptation des secteurs agricoles aux changements climatiques en Haïti. Rapport produit dans le cadre de la mise en œuvre du projet Sécurité alimentaire : une agriculture adaptée (SAGA). Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9866fr>
- Lacombe C., Couix N., & Hazard L., 2018. Designing agroecological farming systems with farmers : A review. *Agricultural Systems*, 165, 208-220. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014>
- Le Foll et al., 2018. Agriculture et changement climatique : un mariage de raison inéluctable. Published by EDP Sciences 2018. Disponible sur internet : <https://doi.org/10.1051/cagri/2018027> [consulté le 13/09/2022].
- Locatelli B., 2011. *Les synergies entre adaptation et atténuation en quelques mots*. 4.
- Maddison D., 2007. *The Perception Of And Adaptation To Climate Change In Africa*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-4308>
- Magnan A., 2013. Éviter la maladaptation au changement climatique. *IDDRI Policy Brief*.
- Mairie de Saint Michel de l'Attalaye. Disponible sur internet : <https://www.mairiesma.org/index.html> [consulté le 21/03/2022]
- MARSDEN, Claire. « Comptabilité carbone de l'agriculture » [notes fournies dans le cours agrosystèmes, intensification écologique et gestion des ressources naturelles UE2], Institut Agro, Montpellier, 22 novembre 2021.
- Martin G., Felten B., Duru M., 2011. Forage rummy: a game to support the participatory design of adapted livestock systems. *Environ. Model. Softw.* 26 (12), 1442–1453. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.08.013>.
- McDonald K. S., Hobday A. J., Thompson P. A., Lenton A., Stephenson R. L., Mapstone B. D., et al., 2019. Proactive, reactive, and inactive pathways for scientists in a changing world. *Earth's Future*, 7, 60–73. <https://doi.org/10.1029/2018EF000990>
- Meynard J.-M., Dedieu B., & Bos A. P., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In I. Darnhofer, D. Gibbon, & B. Dedieu (Éds.), *Farming Systems*

- Research into the 21st Century: The New Dynamic* (p. 405-429). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18
- Ministère de l'Agriculture, des ressources naturelles et du développement rural (MARNDR), 2012. *Synthèse nationale des résultats du recensement général de l'agriculture (RGA) 2008/2009*, Port-au-Prince, Haïti.
- Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires & Ministère de la transition énergétique (MTECT& MTE, 2022). Adaptation de la France au changement climatique : <https://www.ecologie.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique>
- Moran E. F., 2008. *Human adaptability: An introduction to ecological anthropology* (3rd ed). Westview Press.
- MOULIN, Charles Henri. « Conception des systèmes agricoles aidés par la modélisation » [notes fournies dans le cours co-conception et accompagnement du changement dans l'exploitation agricole UE3], Institut Agro, Montpellier, janvier 2022.
- Naulleau A., Gary C., Prévot L., Vinatier F., & Hossard L., 2022. How can winegrowers adapt to climate change? A participatory modeling approach in southern France. *Agricultural Systems*, 203, 103514. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103514>
- Noble I.R., Huq S., Anokhin Y.A., Carmin J., Goudou D., Lansigan F.P., Osman-Elasha B., and Villamizar A., 2014: Adaptation needs and options. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868. Disponible sur internet : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap14_FINAL.pdf
- Organisation des Nations Unies (ONU), 1992 : *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*, Sommet mondial de la Terre, Rio, p. 25.
- OXFAM, 2022. L'heure des comptes pour un financement équitable des pertes et dommages dans un contexte d'escalade des impacts climatiques. *Résumé d'un document d'information d'OXFAM – Juin 2022*
- Paul B., Fréguin-Gresh S., Marzin J., Pressoir et al., 2021. Diagnostic agro socio-économique de la commune de Saint Michel de l'Attalaye.
- Penot E., Andrieu N., Cialdella N., Pédelahore P., 2018. Des outils de simulation pour comprendre, évaluer et renforcer l'innovation dans les exploitations agricoles. In : *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires*. Faure Guy (ed.), Chiffolleau Yuna (ed.), Goulet Frédéric (ed.), Temple Ludovic (ed.), Touzard Jean-Marc (ed.). Versailles : Ed. Quae, 239-250. (Synthèses : Quae) ISBN 978-2-7592-2813-3 <https://www.quae.com/produit/1518/9782759228133/innovation-et-developpement-dans-les-systemes-agricoles-et-alimentaires>
- Penot E. & Deheuvels O., 2007. *Simulation et modélisation du fonctionnement de l'exploitation agricole avec le logiciel Olympe*.
- Perinelle A., 2021. *Co-conception de systèmes de culture innovants avec deux communautés villageoises du Burkina Faso : Articulation entre traque aux innovations, prototypage participatif et expérimentations paysannes*. 179.
- Pound, B., Posthumus, H., 2016. The merits and limitations of innovation platforms for promoting conservation agriculture in sub-Saharan Africa. In: IFSA 2016, pp. 1–10. <https://www.harper-adams.ac.uk/events/ifsa/papers/1/1.6Pound.pdf>.
- Pouzet D., 2006. Amélioration de la production de la biomasse de canne à sucre à des fins énergétiques. Applications à d'autres usages non sucriers. Intention de projet. Disponible sur internet : https://agritrop.cirad.fr/534986/1/document_534986.pdf. [consulté le 19/09/2022].

- Pressoir G., Fréguin-Gresh S., Tardieu F.-X. L., Lançon F., 2016. Les filières agricoles Haïtiennes : un marché intérieur à reconquérir. Version finale -29 juin 2016. Disponible sur internet : <https://agritrop.cirad.fr/580386/1/ID580386.pdf>. [consulté le 20/10/2022].
- Prost L., Berthet E.T.A., Cerf M., Jeuffroy M.-H., Labatut J., Meynard J.-M., 2017. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. *Res Eng Design* 28, 119–129. <https://doi.org/10.1007/s00163-016-0233-4>
- Rasse C., 2017. La Petite Agriculture Familiale de Guadeloupe, tensions et synergies entre productivité et services écosystémiques. Mémoire de master 2, RESAD, SupAgro Montpellier, p.116
- Richemond D., 2021. Analyse des mesures d'adaptation face aux changements climatiques en Haïti dans un contexte de précarité économique et d'assistance alimentaire. *Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maîtrise en environnement*. Université de Sherbrooke. Janvier 2021.
- Roubal C., 2017. Tavelures du pommier et de l'olivier : réalisation de modèles épidémiologiques par des méthodes exploitant des observations biologiques acquises au verger. Sciences agricoles. Université d'Avignon, 2017. Français. NNT : 2017AVIG0694. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02788163v2>
- Salembier C., Segrestin B., Berthet E., Weil B., & Meynard J.-M., 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy : Lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 164, 277-290. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.05.005>
- Sautier M., Piquet M., Duru M., Martin-Clouaire R., 2017. Exploring adaptations to climate change with stakeholders: a participatory method to design grassland based farming systems. *J. Environ. Manag.* 193, 541–550. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.050>.
- Scheraga J., & Grambsch A., 1998. Risks, opportunities and adaptation to climate change. *Climate Research*, 11, 85-95. <https://doi.org/10.3354/cr011085>
- Serkine P., 2015. Le risque de maladaptation au changement climatique : un enjeu pour la rentabilité des investissements ? *Revue d'économie financière*, 117, 75-90. <https://doi.org/10.3917/ecofi.117.0075>
- Simonet G., 2009. Le concept d'adaptation : polysémie interdisciplinaire et implication pour les changements climatiques. *Natures Sciences Sociétés*, 17, 392-401. <https://www.cairn.info/revue--2009-4-page-392.htm>.
- Simonet G., 2016. De l'ajustement à la transformation : Vers un essor de l'adaptation ? *Développement durable et territoires*, Vol. 7, n°2. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11320>
- Singh B., Cohen M.J., 2014. *Adaptation aux changements climatiques : le cas d'Haïti*. Rapports de Recherche OXFAM, mars 2014. OXFAM International, Oxford. Disponible sur internet : https://www-cdn.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/rr-climate-change-resilience-haiti-260314-fr_2.pdf [consulté le 27/04/2021].
- Soussana J.-F., 2013. S'adapter au changement climatique : Agriculture, écosystèmes et territoires.
- Smolikowski B., 1993. *La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) : Une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haïti : Cas du transect Petite rivière de Nippes-Salagnac-Aquin dans le sud d'Haïti*. 25.
- Thiétart R.-A., 2014. Méthodes de recherche en management-4ème édition. Edition Dunod, p. 532-533
- Tittonell P., Scopel E., Andrieu N., Posthumus H., Mapfumo P., Corbeels M., ... Mkomwa S., 2012. Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO): targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. *Field Crop Res.* 132, 168–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.011>.
- Torquebiau E., Benoît M., 2015. Changement climatique et agriculture : comprendre et anticiper, ici et ailleurs (édito). *Agronomie, Environnement et Sociétés*, 5 (1) : 9-10. <https://agritrop.cirad.fr/592706/>
- Torquebiau E., 2017. Le changement climatique, un défi pour la recherche : L'exemple de l'initiative « 4 % ». *OCL*, 24(1), D108. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016054>
- Williams J., 2012. Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. *Scottish Geographical Journal*, 128(1), 83-86. <https://doi.org/10.1080/14702541.2012.692916>

Vänninen I., Pereira-Querol M., Engeström Y., 2015. Generating transformative agency among horticultural producers: an activity-theoretical approach to transforming integrated Pest management. *Agric. Syst.* 139, 38–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.06.003>.

Bases de données consultées

Banque Mondiale : Base de données disponible sur : <https://donnees.banquemondiale.org/pays/haiti>

Climate data. *Climat Saint Michel de l'Attalaye (Haïti)*. Disponible sur internet : <https://fr.climate-data.org/amerique-du-nord/haiti/artibonite-department/saint-michel-de-l-attalaye-48360/> [consulté le 10/03/2021].

Portail de connaissances sur les changements climatiques. Disponible sur internet : <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/CC>

Sous-structure agricole et informatique du MARNDR. Disponible sur internet : www.agriculture.gouv.ht/statistique_agricole [consulté le 17/09/2022].

ANNEXES

Annexe 1: Quelques projets réalisées durant ces dernières années en Haïti en lien avec l'adaptation au changement climatique

Projet	Organisme et zone d'exécution	Stratégies d'adaptation mobilisées
Programme de mitigation des désastres naturelles (PMDN II) du MARNDR	Université Quisqueya/Chibas/Cirad <i>Artibonite, Haïti</i>	Diagnostic agraire (ou socio-agro-technico-économique) et prospectif ; Co-conception de scénarios d'amélioration du fonctionnement et des performances des exploitations agricoles ; Innovation variétale et des systèmes de culture pour améliorer la résilience aux risques climatiques ; Innovations pour améliorer la résilience de l'élevage aux risques climatiques ; Vulgarisation & Renforcement institutionnel des mécanismes d'innovation locaux ; Formation de chercheurs en Master (Chibas-UniQ-CIRAD, 2018).
Programme pour l'innovation technologique dans le secteur agricole et agroforestier (PITAG)	MARNDR <i>Nord, Nord-est, Artibonite, Sud et Grande-Anse</i>	Pratique de l'agroforesterie ; techniques et pratiques agricoles adaptées aux conditions locales ; promotion de systèmes de cultures à haute valeur ajoutée et environnementale.
Projet d'Évaluation des besoins en technologies (EBT)	MDE <i>Ouest et Sud-est</i>	Introduction et adoption de technologies agricoles écologiquement rationnelles.
Projet de renforcement de la résilience aux changements climatiques et réduction des risques des catastrophes en agriculture pour améliorer la sécurité alimentaire en Haïti après le séisme du 12 janvier	FAO <i>Sud-est et Ouest</i>	Réalisation d'essais sur des variétés de culture dans une logique d'adaptation ; Formations sur les techniques de production, de conditionnement et de conservation de semences et matériel végétal ; Introduction de nouvelles variétés de cultures tolérantes à la sécheresse ; Promotion de l'agroforesterie.
Programme d'appui à la prise en compte du changement climatique dans le développement d'Haïti (AP3C)	MDE <i>Ouest</i>	Promotion des pratiques agroforestières ; Amélioration des techniques productions agricoles ; Diffusion de techniques de cuisson éco-énergétiques
Programme pilote pour la résilience climatique	CIAT	Collecte et traitement des données hydrométéorologiques (de 2015 à 2020) ; Renforcement de la gestion des données hydrométéorologiques, climatiques et de la ressource en eau en Haïti ; Renforcement des capacités.

Projet de renforcement de la résilience alimentaire et écologique	MDE ; <i>10 départements du pays</i>	Construction de centres germoplasme; Reboisement et reforestation; Distribution de plantules aux organisations communautaires de base.
Programme de mitigation des désastres naturels (PMDN)	MARNDR/Agrisud International <i>Boucle Centre-Artibonite</i>	Réalisation des essais pour évaluer l'adaptabilité de certaines espèces ; Introduction d'espèces adaptés aux nouvelles conditions climatiques ; Réalisation d'une cartographie de fertilité des sols; Renforcement des comités de gestion des structures d'irrigation; Installation des systèmes communautaires d'alerte précoces au niveau des bassins versants cibles.
Renforcement des services publics agricoles (RESEPAG)	MARNDR <i>Centre et Grande-Anse</i>	Vulgarisation de nouvelles pratiques culturelles dans une perspective de durabilité ; Promotion de l'agroforesterie ; sensibilisation sur les impacts du changement climatique.
Programme d'intensification Agricole Ennery-Quinte (PIA-EQ)	MARNDR <i>Artibonite</i>	Reboisement d'espaces déboisés ; Édification de micro-retenues pour la rétention de l'eau ; Mise en place de comité de gestion de bassins versants ; Valorisation et promotion des savoirs locaux sur la lutte contre le changement climatique
Projet d'adaptation basée sur les écosystèmes (ABE)	PNUD <i>Nord, Sud et Sud-est</i>	Mise en place forêts énergétiques ; Gestion des terres ; Aménagement des zones côtières dégradées ; Promotion de la pêche sélective ; Renforcement des capacités dans les domaines de l'apiculture, de l'aquaculture et de la saliculture.
Sécurité alimentaire : une agriculture adaptée	FAO <i>Nord-est, Artibonite, Centre, Ouest, Grande-Anse, Sud</i>	Formations aux bénéficiaires des organisations communautaires sur l'adaptation aux changements climatiques à travers les champs-écoles paysans ; Renforcement des capacités dans la gestion de l'eau, la planification agricole, la gestion d'entreprise et la commercialisation résiliente ; Installation de vergers de manguiers, de jardins maraichers ; Élaboration de documents d'orientation etc.
Programme « Appui à valorisation du potentiel agricole du Nord, à la sécurité économique et environnementale » (AVANSE)	USAID/DAI <i>Nord et Nord-est</i>	Introduction de technologies agricoles améliorées et de variétés de culture à haut rendement ; Renforcement des entreprises agricoles ; Amélioration des infrastructures d'irrigation ; Aménagement de bassins versants par la mise en place de structures de protection des sols.
Projet de Lutte contre les changements climatiques dans le Nord d'Haïti (KLIMA)	CECI <i>Nord et Grande-Anse</i>	Implantation de forêts énergétiques ; Gestion durable des déchets organiques ; Sensibilisation sur des mesures d'adaptation.
Projet de reboisement de l'USAID en Haïti	Chemronics International <i>Nord et Nord-est</i>	Reforestation et reboisement ; Restauration de mangroves ; Appui à l'élaboration de plan de gestion des sous-bassins versants ; Promotion de l'agroforesterie et des pratiques d'élevage durables.

Participation à la valorisation des ressources en eau par le stockage des eaux de ruissellement	Petits frères de l'incarnation (PFI) <i>Centre</i>	Stockage des eaux de pluies ; Promotion des acquis locaux pour la lutte contre le changement climatique ; Appui à la pisciculture et l'élevage semi-intensif.
Intégration des risques liés au changement climatique dans les processus de planification du développement national en Haïti	PNUD, MDE et MPCE <i>Ouest</i>	Mise en place d'un groupe de travail technique sur le changement climatique ; Élaboration et validation de la feuille de route du plan national d'adaptation (PAN) ; Élaboration et validation d'un plan de vulgarisation de la politique nationale sur les changements climatiques (PNCC).
Adaptation climatique et valorisation des filières agricoles en faveur d'Haïti (AVETI)	CECI, UPA DI, SOCODEVI et DID <i>Grande-Anse</i>	Mobilisation de pratiques agricoles adaptées au changement climatique ; Promotion d'une gestion rationnelle des ressources en eau ; Aménagement des bassins versants ; Usage de matières organiques afin de stabiliser les sols ; Réhabilitation des parcelles.
Programme de gestion et de collecte des déchets organiques	SOIL <i>Nord</i>	Production de compost organique par la valorisation des déchets organiques d'origine animale et végétale ; Sensibilisation sur la protection de l'environnement.
Programme de création des jardins agroforestiers	ITECA <i>Centre</i>	Reboisement et reforestation ; Renforcement des capacités sur les effets du changement climatique ; Introduction d'espèces adaptés au changement climatique ; Usage de matières organiques et des structures de protection des sols.
Assistance agricole d'urgence aux populations rurales affectées par la sécheresse	FAO <i>Nord-ouest</i>	Distribution de semences, d'intrants et d'outils agricoles aux producteurs touchés.
Programme agroécologique et formation intégrée	PADED <i>Plusieurs départements du pays</i>	Sensibilisation sur l'abandon des mauvaises pratiques culturales (défriche, brulis) ; Compostage ; Promotion des systèmes agrosylvopastoraux ; Édification de structures antiérosives.
Maïs moulin, solutions innovatives et adaptées	PAPYRUS S.A. <i>Sud et Artibonite</i>	Renforcement des connaissances sur l'utilisation intelligente des approches, technologies et pratiques agricoles face au changement climatique.
Revalorisation du jardin créole	AVSF <i>Sud</i>	Mise en place de système agroforestier à base de café et de cacao ; Création de compétences sur l'adaptation de l'agroforesterie au changement climatique ; Renforcement des capacités de gouvernance des instances locales et départementales sur l'adaptation au changement climatique ; Amélioration des capacités des acteurs en gestion, commercialisation et marketing.

Renforcement des capacités adaptatives des communautés côtières d'Haïti aux changements climatiques	MDE et PNUD <i>Nord-est et Sud</i>	Établissement de structures de protection des sols au niveau des bassins versants ; Construction de citernes de stockage d'eau ; Sensibilisation et renforcement de capacités.
Contribution à l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle par la promotion des pratiques agricoles résilientes aux changements climatiques	FAO <i>Sud-Est</i>	Diffusion de semences de variétés climato-résiliente ; Promotion de pratiques agricoles adaptées au changement climatique à travers les champs-écoles paysans.
Action contre la désertification (ACD)	FAO <i>Grande-Anse</i>	Reboisement ; Création de coopérative de crédits et d'épargne afin de développer des filières agricoles durables.
Contribution à la mise en œuvre du plan d'urgence Covid-19	FAO, MDE <i>Nord-est</i>	Formations aux bénéficiaires d'agriculteurs sur des pratiques agricoles durables ; Renforcement des réseaux de dialogue communautaires ; Création d'initiatives de crédits et d'épargne communautaires.
Reboisement et biodiversité	AVSF <i>Sud-est</i>	Renforcement des compétences institutionnelles au niveau national ; Régénération des systèmes agroforestiers à base de café et de cacao ; Appui aux organisations de producteurs.
Soutien à l'agroforesterie dans les bassins caféiers d'Haïti	AFD <i>Sud-est</i>	Renforcement des capacités en production agricole durable, gestion des ressources naturelles et des bassins versants ; Développement des filières cacao et vétiver.

Source : Joseph et al., 2022

Annexe 2: Comparaison de l'agriculture à l'époque des parents des agriculteurs avec l'agriculture de maintenant à Saint Michel de l'Attalaye

Lors du focus groupe, nous avons mis en comparaison deux contextes distincts : l'agriculture à l'époque des parents des agriculteurs et l'agriculture de maintenant. Le tableau suivant présente des informations synthétiques sur ces deux contextes.

	L'agriculture à l'époque de leurs parents	L'agriculture de maintenant
Saisons de culture	<p>Deux campagnes agricoles : mars/avril & août/septembre.</p> <p>À cette époque, l'agriculteur avait la possibilité d'obtenir deux cycles de cultures saisonnières sur une même parcelle pendant une année.</p>	<p>Une seule campagne agricole : avril à juin. Parfois, les dates de semis s'étalent jusqu'en août en raison du retard des pluies, par manque de disponibilité de semences et/ou par manque de moyens pour payer les prestations de labour.</p>
Systèmes de culture	<p>Les systèmes de cultures étaient à base de maïs, haricot, sorgho, pois Congo, arachide, pois inconnu, riz, ignames, gombo, sésame, manioc, patate douce, taro, mazombelle, banane, canne, papaye, maraîchage, café, cacao etc...L'agroforesterie était pratiquée partout, notamment dans les jardins de case.</p> <p>Les récoltes étaient satisfaisantes ; l'occurrence des maladies et ravageurs était moins fréquente sur les plantes.</p>	<p>La dégradation de l'écosystèmes, aggravée par les aléas climatiques, le déboisement et les mauvaises pratiques culturales, fait que l'agriculture de Saint Michel de l'Attalaye se tourne vers la culture de la canne, maïs à cycle court, pois Congo, riz pluvial, sorgho, pois inconnu, arachide, quelques tubercules capables de résister à la sécheresse..., banane, papaye et maraîchage dans certains endroits qui le permettent.</p> <p>Les systèmes agroforestiers deviennent rares avec le temps.</p> <p>Les rendements de cultures baissent considérablement ; les ravageurs et maladies deviennent plus nuisibles.</p> <p>Les techniques largement répandues sur les EA de nos jours sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Édification de structures de conservation de sol : murettes en pierre, clayonnage, canaux de contour, cultures sur courbe de niveau. -Et production de compost.

		-Abandon du brulis sur les parcelles.
Systèmes d'élevage	Les animaux d'élevage : porcs créoles, bovins, caprins, équins, poules, dindes, pintades, canards. En plus, la pêche et l'apiculture ont été pratiquées.	De nos jours : bovins, porcs exotiques, caprins, équins et quelques volailles. Les activités d'élevage diminuent en raison des contraintes économiques, environnementales et d'insécurité (vol de bétail). En plus, les animaux tombent malades plus souvent : porcs et volailles notamment.
Part de l'autoconsommation dans la couverture des besoins alimentaires du ménage	En raison de la diversité des espèces cultivées, la majorité des ménages ont été autosuffisants du point de vue alimentaire. Selon les dires d'un agriculteur de Camathe, les jardins de case proches des maisons étaient presque capables d'assurer l'autoconsommation d'un ménage. À cette époque, les maladies des volailles n'étaient pas aussi virulentes comme aujourd'hui. En plus, le fait que les animaux d'élevage étaient plus performants zootechniquement, les besoins en protéines des ménages ont été comblés par l'abondance de la viande, du lait et des œufs.	Aujourd'hui, les besoins caloriques des ménages ne sont pas totalement couverts par la quantité des récoltes autoconsommées. Rares sont ceux où les besoins caloriques sont entièrement couverts.
Implication des membres du ménage dans les activités de l'EA	Implication intégrale du ménage dans les activités agricoles. En plus, les liens sociaux entre agriculteurs étaient plus solides y compris les formes d'entraide. C'est le cas du système de <i>konbit</i> par exemple.	Aujourd'hui, peu de jeunes s'intéressent à l'agriculture par constat des difficultés dont fait face le secteur.
Outillage agricole	Houe, machette, pioche, charrue, louchette, dérapine, pelle, moulin canne à traction etc.	Houe, machette, pioche, charrue, louchette, dérapine, pelle, moulin canne à traction, moulin canne à moteur, tracteur (rare) etc.

	D														
FG5a : Temps de travail par an ST															

FG6- Coût de production /Subvention/ Revenu extra agricole / Besoin du ménage

	Description	Prix unitaire HTG	Quantité	Coût total	Remarques
Main d'œuvre FG6a					
Intrants FG6b					
Amortissement matériel fixe FG6c					
Coût du foncier					

FG6d					
Estimation du revenu extra agricole FG6e					
Estimation des besoins du ménage FG6f					

Module II : Systèmes de culture

Système de culture 1 (espèce et variété) :

Nombre de cycle par an :

Date de plantation :

Date de récolte :

Rendement :

Qté vendue :

Prix de vente :

Qté autoconsommée :

Superficie en ha			Type	Composition azotée	Qté (kg/ha)	Prix d'achat (HTG/kg)	Surface d'épandage (ha)	Qté par an (kg)	Passage par an	Dose homologuée
Surface en petit rang			Vermicompost lisier							
Surface en grand rang			Vermicompost bouse							
Surface du rang			Vermicompost crottin cabris							
Surface inter-rang			Vermicompost fiente							

Systèmes de culture 1			
	Travail du sol	Qté carburant/passage (L/ha)	
		Nombre de passage	
		Prix unitaire (HTG/L)	
	Épandage engrais minéraux et organiques	Qté carburant/passage (L/ha)	
		Nombre de passage	
		Prix unitaire (HTG/L)	
	Sarclage	Qté carburant/passage (L/ha)	
		Nombre de passage	
		Prix unitaire (HTG/L)	
	Récolte	Qté carburant/passage (L/ha)	
		Prix unitaire (HTG/L)	
	Motoculteur / desherbage mécanique	Qté gasoil/passage (L/ha)	
		Qté essence/passage (L/ha)	
		Nombre de passage	
Prix unitaire (HTG/L)			
Déplacement	Qté gasoil/passage (L/ha)		
	Qté essence/passage (L/ha)		
	Prix unitaire (HTG/L)		

Module III : Système d'élevage

	Nom des variables		Mâle reproducteur	Femelle reproductrice	Jeune	Nouveau-né	Unité
SE	Effectif						Valeur absolue
	Âge de vente						an
	Surface						ha

- 1- *Quelle est votre compréhension sur les résultats graphiques que je viens de vous présenter ? À quelle mesure reflètent-ils la réalité de votre exploitation agricole ?*
- 2- *Qu'est-ce qui vous a échappé pour que je le reprenne et qu'on en discute à nouveau ?*

B- Co-conception

Dans cette partie, la parole va être entièrement accordée aux agriculteurs pour qu'ils puissent exprimer les différents changements liés aux contextes économique et climatique qu'ils veulent apporter au niveau de leurs systèmes de production agricole.

Questions

- 1- *Au cours de ces dernières années, quels sont les changements liés aux contextes économique et climatique que vous avez apportés au niveau votre exploitation agricole (SC & SE)?*
- 2- *Par rapport à vos performances technico-économiques, quelles sont vos nouvelles perspectives pour améliorer celles-ci (SC & SE) ?*
- 3- *Compte tenu des évolutions du climat que vous ressentez depuis plusieurs années, quelles nouvelles perspectives (pratiques et techniques) aurez-vous à mobiliser comme mesure d'adaptation face au changement climatique (SC & SE) ?*

C- Conclusion

- Mots de remerciement
- Invitation au focus group prévu le 30 aout 2022.

Recouvrement des besoins de la famille en calories



Kantite viv ki soti nan jaden (*Pistach, pitimi, mayi, pwa kongo*) ki manje nan kay la kouvri a **13%** bezwen fanmiy lan an kalori.

Revenu agricole total



Après tout depans yo, kantite revni aktivite fè jaden rapòte a fanmiy lan pou ane 2021 an se **154361 GOUD**

Annexe 6: Bilan d'une EA

Nom variable	Valeur	Unité
Rendement moyen de l'eau agricole	#DIV/0!	kg/HTG
Efficiéce de l'N SC	391,30	NA
Indicateur biodiversité domestique	3,9	nb espèce par ha
Part de la SAU amendée par de la MO	83,3333333	% SAU
Emission fabrication herbicides	0	kgCO2-eq/an
Emission transport herbicide	0	kgCO2-eq/an
Emission totale herbicide	0	kgCO2-eq/an
Bilan Carbone Elevage	2,24	tCO2-eq/an
Bilan Carbone Culture		tCO2-eq/an
Bilan Carbone Total	2.2400	tCO2-eq/an
Bilan carbone/ha	0,57881137	tCO2-eq/an
IFT de l'exploitation (herbicide)	0	Valeur absolue
Qualité des agro-éco-systèmes	0	% SAU traitée avec des insecticides/herbicides
RecBesM Couverture besoins famille	12.4010537	%
Couverture besoins animaux	12	%
Biomasse produite SC	15072	kg/ha
Consommation d'intrants de synthèse cultures	3790	HTG/ha
Consommation d'intrants élevage	0,00	HTG/tête
Consommation d'intrant Sdp	3790	HTG/ha
Productivité de la terre	48989	HTG/ha
Valorisation de la journée de travail	204	HTG/Hj
Surface maximum par actif	1.2	ha/actif
Total PB culture	177525,2	HTG/surface totale
Total PB culture	55046,6	HTG/ha
Total PB élevage	24285,7	HTG/surface totale

Total PB élevage	37652,3	HTG/ha
TOTAL PB	201810,9	HTG/surface totale
TOTAL PB	92698,8	HTG/ha
Total CI culture	12224	HTG/surface totale
Total CI culture	3790	HTG/ha
Total CI élevage	0,0	HTG/surface totale
Total CI élevage	0,0	HTG/ha
TOTAL CI	12224,2	HTG/surface totale
TOTAL CI	3790,5	HTG/ha
Total MB système de culture	165301,0	HTG/surface totale
Total MB système de culture	42713,4	HTG/ha
Total MB système d'élevage	24285,7	HTG/surface totale
Total MB système d'élevage	37652,3	HTG/ha
TOTAL MB	189586,7	HTG/surface totale
TOTAL MB	80365,7	HTG/ha
TOTAL VAN	183111,7	HTG/surface totale
TOTAL VAN	47315,7	HTG/ha
Estimation du revenu agricole total	154361,7	HTG/an
Revenu agricole par ha	39886,7	HTG/ha
Revenu de l'activité extra-agricole	60 000	HTG/an
Taux de recouvrement des besoins du ménage par le revenu agricole	21,4391262	%
Taux de recouvrement des besoins du ménage par le revenu extra-agricole	8,33333333	%

Annexe 7: Équivalence en kg des unités de récolte déclarées par les agriculteurs

Espèces	Unités déclarées par les agriculteurs	Équivalence en kg
Arachide	1 marmite arachide en gousse	1,27 kg
	1 marmite arachide décortiquée	2,45 kg
Banane	1 régime banane	10 kg
Betterave	1 panier betterave	42,7 kg
Dolique d'Égypte	1 marmite pois bousoukou	2,7 kg
Gombo	1 diacoute gombo	22,7 kg
Igname	1 gros sac igname	84,1 kg
Maïs	1 marmite maïs	2,7 kg
Manioc	1 petit sac de manioc	34,1 kg
Papaye	1 panier papaye	24,5 kg

Patate douce	1 petit sac de patate	34 kg
Piment	1 marmite piment	0,7 kg
Pois Congo	1 marmite pois congo	2,7 kg
Pois inconnu	1 marmite pois inconnu	2,7 kg
Poivron	1 petit sac de poivron	37 kg
Haricot	1 marmite haricot	2,7 kg
Riz	1 marmite riz paddy	1,7 kg
	1 marmite riz décortiqué	2,92 kg
Sorgho	1 marmite sorgho	3,12 kg
Taro	1 petit sac taro	47,7 kg

Source : www.agriculture.gouv.ht/statistique_agricole [consulté le 17/09/2022].

Annexe 8: Test d'homogénéité et d'élasticité des ANOVA présentées

Variables	Test de normalité (p-value)	Levene Test (p-value)
Biomasse par hectare	0.0001806	0.6259
Efficience azotée	0.0004273	0.04127
Comptabilité CO2	0.0001806	0.6259
RecBesM	0.004522	0.03582
Productivité de la terre	0.02832	0.03582
VAN / ha	0.02664	0.0314
Revenu agricole	0.01554	0.06027
Valorisation journée travail	0.0004316	0.001583

Annexe 9: Noms scientifiques des espèces de cultures et d'animaux

	Nom vernaculaire	Famille botanique	Nom scientifique correspondant
Plantes	Arachide	Légumineuses	<i>Arachis hypogea</i>
	Banane	Musacées	<i>Musa spp</i>
	Banane plantain	Musacées	<i>Musa paradisiaca</i>
	Betterave	Chénopodiacées	<i>Beta vulgaris</i>
	Canne	Graminées	<i>Saccharum officinarum</i>
	Dolique d'Égypte	Légumineuses	<i>Dolichos lablab</i>
	Gombo	Malvacées	<i>Hisbiscus esculentus</i>
	Haricot	Légumineuses	<i>Phaseolus spp</i>
	Igname	Dioscoréacées	<i>Dioscorea spp</i>
	Maïs	Graminées	<i>Zea mays</i>
	Manioc	Euphorbiacées	<i>Manihot dulcis</i>
	Papaye	Caricacées	<i>Carica papaya</i>
	Patate douce	Convolvulacées	<i>Ipomea batatas</i>
	Piment	Solanacées	<i>Capsicum spp</i>
	Pois Congo	Légumineuses	<i>Cajanus cajan</i>
	Pois inconnu	Légumineuses	<i>Vigna unguiculata</i>
	Poivron	Solanacées	<i>Capsicum annum</i>
	Riz	Graminées	<i>Oryza sativa</i>
Sorgho	Graminées	<i>Sorghum vulgare</i>	
Taro	Aracées	<i>Colocasia esculenta</i>	
Animaux	Bœuf	Bovidés	<i>Bos taurus</i>
	Cabris	Bovidés	<i>Capra hircus</i>
	Cheval	Équidés	<i>Equus caballus</i>
	Mulet	Équidés	<i>Equus (asinus x caballus)</i>
	Porc	Suidés	<i>Sus scrofa domesticus</i>