

BURKINA FASO

UNITE - PROGRES - JUSTICE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

UNIVERSITE NAZI-BONI (UNB)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE
EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL
OPTION : ELEVAGE

THEME :

**Evaluation de l'effet de pratiques d'amélioration des productions
animales sur l'émission de gaz à effet de serre dans un territoire
agro-pastoral d'Afrique de l'Ouest.
Cas de la commune de Koumbia (Burkina Faso)**

Présenté par :
SOMDA Bienvenu D'Ela

Maître de stage :
Dr Mélanie BLANCHARD

Directrice de mémoire :
Pr Valérie M. C. BOUGOUMA-YAMEOGO

TABLE DES MATIERES

Dédicace.....	III
Remerciements.....	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des figures et illustrations.....	V
Sigles et abréviations.....	VI
Résumé.....	VIII
Abstract.....	IX
Introduction.....	1
Première partie : Synthèse bibliographique.....	4
1.1. Généralités sur les gaz à effet de serre (GES).....	5
1.1.1. Phénomène de "l'effet de serre".....	5
1.1.2. Types de GES.....	5
1.1.3. Etat des émissions anthropiques dans le monde.....	5
1.1.4. Conséquences des GES.....	7
1.1.5. Quelques grandes dates sur les changements climatiques.....	8
1.2. Secteur d'élevage et les GES.....	9
1.2.1. Sources d'émission des GES dans le secteur d'élevage.....	9
1.2.1.1. Production d'aliments pour le bétail.....	9
1.2.1.2. Fermentation entérique.....	10
1.2.1.3. Gestion des effluents.....	10
1.2.1.4. Processus de transformation et de transport des produits.....	10
1.2.2. Méthodes d'atténuation de l'émission des GES.....	12
1.2.2.1. Atténuation par l'affouragement.....	12
1.2.2.2. Atténuation par la supplémentation alimentaire.....	12
1.2.2.3. Atténuation par la gestion du fumier.....	13
1.2.2.4. Atténuation par l'amélioration génétique.....	13
1.2.2.5. Atténuation par le suivi sanitaire des animaux.....	13
1.3. Elevage d'Afrique de l'Ouest.....	14
1.3.1. Systèmes d'élevage en Afrique de l'Ouest.....	14
1.3.1.1. Systèmes d'élevage traditionnels ou extensifs.....	14
1.3.1.2. Systèmes améliorés.....	16
1.3.2. Contraintes du secteur d'élevage d'Afrique de l'Ouest.....	16
1.3.2.1. Afrique et changement climatique.....	16
1.3.2.2. Impact du changement climatique sur le secteur d'élevage.....	17
1.3.3. Moyens d'adaptation au niveau de l'élevage.....	17
1.3.4. Défis et atouts de l'élevage d'Afrique de l'Ouest.....	18
Deuxième partie : Etude expérimentale.....	19
2.1. Matériel et méthodes.....	20
2.1.1. Site d'étude : la commune de Koumbia.....	20
2.1.1.1. Situation géographique.....	20
2.1.1.2. Caractéristiques physiques.....	20
2.1.1.3. Population et situation socio-économique.....	22

2.1.1.4. Agriculture et élevage	22
2.1.2. Méthodologie de recherche.....	22
2.1.2.1. Outil GLEAM- <i>i</i>	23
2.1.2.2. Collecte de données bibliographiques	23
2.1.2.3. Elaboration de scénarios avec les acteurs	24
2.1.2.4. Collecte des données de terrain	25
2.1.2.4.1. Choix de l'échantillon	25
2.1.2.4.2. Enquête individuelle : situation de référence et scénarios	26
2.1.2.5. Analyse statistique des données	26
2.1.2.6. Restitution aux acteurs	27
2.2. Résultats et discussion	29
2.2.1. Présentation des résultats.....	29
2.2.1.1. Productions et émissions des GES sur la base des références bibliographiques	29
2.2.1.2. Pratiques de conduite des animaux dans les exploitations	32
2.2.1.3. Périodes de complémentation.....	32
2.2.1.4. Productions et émissions des GES sur la base des enquêtes terrain	33
2.2.1.4.1. Paramètres d'entrées pour les enquêtes terrain	33
2.2.1.4.2. Résultats en situation de référence (So).....	35
2.2.1.4.3. Résultats de la mise en place des scénarios S1, S2, S3 et S4	37
2.2.1.4.4. Effet de l'association de scénarios	40
2.2.1.5. Contraintes relevées par les acteurs et solutions proposées	43
2.2.1.5.1. La constitution de banques fourragères (S1)	43
2.2.1.5.2. La complémentation avec les SPAI (S2)	43
2.2.1.5.3. Le parage des animaux sous-hangars (S3).....	44
2.2.1.5.4. L'Adoption des fosses fumières (S4)	44
2.2.2. Discussion.....	45
2.2.2.1. Sur la situation de référence	45
2.2.2.2. Sur les scénarios et les combinaisons	46
2.2.2.3. Sur les limites liées à l'outil GLEAM- <i>i</i> et la démarche adoptée.....	47
Conclusion	50
Références bibliographiques.....	52
A. Bibliographie	52
B. Webographie	57
Annexes	A
Annexe 1 : Processus de fermentation entérique	A
Annexe 2 : Schémas représentatif du fonctionnement de GLEAM- <i>i</i>	B
Annexe 3 : Méthode de calcul de l'effectif total	C
Annexe 4 : Définition de quelques concepts	E
Annexe 5 : Questionnaires pour les enquêtes individuelles	G
Annexe 6 : Des scénarios d'amélioration des productions animales.....	O
Annexe 7 : Images des scénarios	Q
Annexe 8 : Paramètres d'entrée des combinaisons de scénarios.....	R

DEDICACE

A

Papa Jean-Michel et Maman Justine :
la maladie a comme attendu cette année particulière
pour vous éprouver durement,
mais vous tenez bon;
Que le Tout-Puissant vous assiste toujours !

A

vous qui m'avez donné la vie,
je dédie ce travail.

Remerciements

« Quand on fait le bien, on ne sait pas tout le bien qu'on fait ! »

Au début de ce travail, nous tenons à dire notre profonde gratitude à tous ceux ou celles qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à la réalisation de ce document.

Nos sincères remerciements vont particulièrement à l'endroit de :

Dr Valentine YAPI-GNAORE, directrice du Centre International de Recherche-Développement en zone Sub-humide (CIRDES), qui nous a accueilli dans sa structure et offert ce cadre propice pour la recherche ;

Dr Mélanie BLANCHARD, notre maître de stage, qui a accepté nous encadrer, nous communiquer le goût de la recherche scientifique ;

Pr Valérie BOUGOUMA-YAMEOGO, notre directrice de mémoire, qui, malgré son calendrier très chargé, nous a accompagné, conseillé et orienté scientifiquement ;

Du corps enseignant de l'IDR, merci pour la formation reçue ;

Mrs Philippe LECOMTE (CIRAD-Dakar), Etienne SODRE (INERA-Farako-Bâ) et Dr Mohamed ASSOUMA (CIRAD-UMR Selmet, Dakar) pour leurs judicieux apports et pour ce cheminement amical ;

Des acteurs de Koumbia, agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs ; un grand merci pour la collaboration, l'accompagnement et le travail en équipe ;

Mme SOURA, la documentaliste du CIRDES, merci bien des échanges et des conseils ;

Des chercheurs, techniciens et du personnel du CIRDES, notamment ceux rattachés à l'Unité de recherche sur la production animale (URPAN); merci pour l'appui durant ce temps ;

Des aînés et camarades stagiaires : Inoussa, Jeannot, Kawassé, Fousséni, Inéissa, Siaka, Faïçal, Cécile, Florentin, Ida, Médina et Sib; merci pour les échanges, les conseils et recherches communes ;

Mgr Der Raphaël DABIRE, Evêque du diocèse de Diébouyou et les confrères diocésains ; merci de nous avoir permis d'entamer ses études ;

Mgr Paul OUEDRAOGO, Archevêque de Bobo-Dioulasso, merci pour l'accueil ;

Aux formateurs et confrères du Petit Séminaire de Nasso, un grand merci pour les moments fraternels passés ensemble ;

A la "Fondation Jean Paul II pour le Sahel", merci infiniment pour le soutien financier durant ces années d'études ;

A papa Jean Edouard PODA, à mes parents de Bobo-Dioulasso et à tous ceux qui, dans le silence, nous ont épaulé durant ce temps de formation, un sincère merci à vous !

Liste des tableaux

Tableau I. Les principaux gaz à effet de serre	6
Tableau II. Quelques grandes dates sur les CC	8
Tableau III. Les caractéristiques physiques de la commune de Koumbia	21
Tableau IV. Scénarios définis par les acteurs pour simulation.....	24
Tableau V. Typologie des acteurs enquêtés.....	25
Tableau VI. Variables d'entrée de GLEAM- <i>i</i>	27
Tableau VII. Variables de sortie de GLEAM- <i>i</i>	28
Tableau VIII. Paramètres d'entrée issus des références bibliographiques	29
Tableau IX. Paramètres zootechniques	30
Tableau X. Résultats à base des références bibliographiques.....	31
Tableau XI. Périodes et pratiques de conduite des animaux	32
Tableau XII. Paramètres d'entrée de la situation de référence et des quatre scénarios.....	34
Tableau XIII. Effet d'amélioration des productions fixé pour la modélisation.....	35
Tableau XIV. Résultats sur la situation de référence (So)	36
Tableau XV. Résultats de la simulation des scénarios par GLEAM- <i>i</i>	38
Tableau XVI. Résultats de la simulation de combinaisons de scénarios	42

Liste des figures et illustrations

Figure 1. Les dix premiers pays émetteurs de GES.....	7
Figure 2. Sources détaillées des émissions des GES du secteur d'élevage	9
Figure 3. Emission de GES par la gestion des effluents.....	11
Figure 4. Carte de la commune de Koumbia.....	20
Figure 5. La pluviométrie de la commune de Koumbia	21
Figure 6. Répartition des UP et bovins par catégories sur le territoire.....	26
Figure 7. Emission globale de GES par type d'exploitation	30
Figure 8. Périodes habituelles d'affouragement et de complémentation.....	33
Figure 9. Nouvelles périodes d'affouragement et de complémentation.....	33
Figure 10. Les intensités d'émissions de la situation de référence	35
Figure 11. Emission globale sur le territoire en So	37
Figure 12. Effets des scénarios sur les émissions des GES	38
Figure 13. Effets de l'association de scénarios sur les émissions des GES	41

Sigles et abréviations

ACV : Analyse en Cycle de Vie

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (France)

BEAER : Bureau d'Etudes et Aménagement de l'Espace Rural

BNDT-IGB : Base Nationale de Données Topographiques- Institut Géographique du Burkina

CC : Changement climatique

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

CEDEAO : Communauté Economique Des Etats de l'Afrique de l'Ouest

CH₄ : Méthane

CILSS : Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CIRDES : Centre International de Recherche-Développement sur l'Elevage en zone Subhumide

CO₂ : Dioxyde de carbone ou gaz carbonique

CO₂-eq : CO₂ équivalent

COP : Conférence des parties (*Conference Of Parties*)

EXE : Enzymes exogènes (*Exogenous Enzymes*)

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

FPCM : Lait standardisé ou lait corrigé en protéine et en matières grasses (*Fat and Protein Corrected Milk*)

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (En Anglais : *Intergovernmental Panel of Climate Change : IPCC*)

GLEAM-i : Modèle mondial d'évaluation de l'élevage et de l'environnement (*Global Livestock Environmental Assessment Model-interactive*)

IDR : Institut du Développement Rural

INDC : Contribution prévue déterminée au niveau national (*Intended Nationally Determined Contributions*)

LUC : Changement dans l'utilisation des terres (*Land Use Change*)

MAE : Ministère des Affaires Etrangères

MDDEP : Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (Canada)

MRA : Ministère des Ressources Animales

MS : Matière sèche

N₂O : Protoxyde d'azote ou oxyde nitreux

PIB : Produit Intérieur Brut

PNDES : Plan National de Développement Economique et Social

PNDEL : Politique Nationale de Développement durable de l'Élevage

ppb : Partie pour milliard

ppm : Partie pour million

PV : Poids vif

RGPH : Recensement Général de la Population et l'Habitation

SIG : Système d'Information Géographique

SPAI : Sous-Produit Agro-Industriel

UBT : Unité Bovin Tropical

UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest-Africaine

UNB : Université Nazi Boni

UP : Unité de production

URPAN : Unité de Recherche sur la Production Animale

Résumé

Le secteur de l'élevage en Afrique Sub-saharienne, malgré sa faible contribution quantitative, enregistre des intensités d'émissions de GES les plus élevées par unité de produit (viande et lait). Il existe fort heureusement des pratiques qui permettent de réduire les intensités d'émissions tout en améliorant les productions. L'étude menée a pour objectif d'évaluer, à l'aide du modèle GLEAM-*i* conçu par la FAO, l'effet de quatre (04) pratiques sur les émissions de GES d'un territoire agro-pastoral tel que celui de Koumbia. Les options d'amélioration des systèmes d'élevage retenues par les acteurs sont : la constitution de banques fourragères (S1), la complémentation à l'aide de SPAI (S2), le parage des animaux sous-hangar (S3) et l'adoption de fosses fumières (S4). Les enquêtes terrain se sont déroulées auprès de vingt-six (26) producteurs dont dix (10) agriculteurs, dix (10) éleveurs et six (06) agro-éleveurs. Elles ont porté sur leurs pratiques actuelles en matière d'alimentation et de gestion du fumier et sur la mise en place de scénarios. Le scénario S1, caractérisé par un accroissement de la proportion de fourrage dans la ration alimentaire, a induit après simulation, une hausse de +1,40% pour les émissions par animal et de +0,68% par kg de PV ; les émissions par kg de FPCM ont été diminuées de -13,07%. Le scénario S2, basé sur une augmentation de la proportion de concentré dans la ration, a conduit à la réduction des émissions de -1,1% par animal, -15,3% par kg de FPCM et de -2,5% par kg de PV. Sur la gestion des effluents, les scénarios S3 et S4, ont moins d'effet sur les émissions par animal (+0,06% et +0,08%). L'effet sur les productions est de -7,78% et -7,71% de réduction par kg de FPCM et de -0,48% et -0,51% par kg de PV respectivement pour S3 et S4. Des quatre (04) pratiques simulées, S2 s'est révélé le meilleur scénario en matière de réduction des émissions des GES. Les différents scénarios augmentent les productions de 1 à 3% pour la viande et de 10 à 20% pour le lait après simulation. Par ailleurs, l'association des scénarios a permis d'obtenir des réductions intéressantes par unité de produit. La réduction des émissions atteint -23% par kg de FPCM, -8% par kg de PV et -5% par animal. Les productions elles, s'accroissent de 2 à 10% pour la viande et de 25 à 35% pour le lait. Il ressort de cette étude que, sur le plan alimentaire, les meilleurs scénarios sont ceux comportant une grande proportion de concentrés dans la ration tandis que pour la gestion du fumier, ce sont les scénarios aboutissant à plus de solidification des effluents qui réduisent le plus les émissions des GES.

Mots clés : Changement climatique, agro-pastoral, émission de gaz à effet de serre, atténuation, alimentation, gestion du fumier, GLEAM-*i*.

Abstract

Despite its limited quantitative contribution to global production, West Africa records the highest GHG emissions per unit of livestock products. Fortunately, there are practices that reduce emission intensities while improving production. The objective of the study is to evaluate the effect of four (04) practices on GHG emissions in the mixed-farming landscape of Koumbia, using GLEAM-*i*, a simulation tool developed by FAO: Fodder banks (S1), Supplementation to IASPs (S2), Sheltering (S3) and Manure pits (S4). Field surveys were conducted with twenty-six (26) actors including ten (10) farmers, ten (10) breeders and six (06) agro-pastoralists. They focused on their current practices in feeding and manure management and on setting up scenarios. Scenario S1, characterized by an increase in the share of cultivated fodder in the diet, induced, after simulation, an increase of + 1.40% for emissions per animal and + 0.68% per kg of LW; Emissions per kg of FPCM decreased by - 13.07%. Scenario S2, based on an increase in the proportion of concentrate in the diet, led to a reduction in emissions of -1.1% per animal, -15.3% per kg of FPCM and -2.5% kg of LW. For manure management, Scenarios S3 and S4, had no significant effect on emissions per animal (+0.06% and +0.08%). The effect on production is -7.78% and -7.71% reduction per kg of FPCM and -0.48% and -0.51% per kg of LW respectively for S3 and S4. Of the four (04) simulated practices, S2 was the best scenario for reducing GHG emissions. The different scenarios increase production by 1 to 3% for meat and 10 to 20% for milk. In addition, the combination of scenarios yielded interesting reductions per unit of product. The reduction in emissions reaches -23% per kg of FPCM, -8% per kg of PV and -5% per animal. The productions, they increase from 2 to 10% for the meat and of 15 to 35% for the milk. This study shows that the best scenarios in feeding are those with a high rate of concentrates in the diet; whereas, for manure management, scenarios leading to more solidification of effluents reduce GHG emissions more.

Key words: climate change, mixed-farming, greenhouse gases emission, mitigation, feeding, manure, GLEAM-*i*.

INTRODUCTION

De nombreuses études ont montré que les perturbations climatiques que connaît notre monde actuel sont les conséquences du réchauffement planétaire dû à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre (GES) (Marniesse et Filipiak, 2003 ; Jaques et Letreut, 2004 ; GIEC, 2007 ; Seguin et Soussana, 2008 ; IPCC, 2013 ; 2015). L'influence humaine sur le système climatique est claire et les émissions anthropiques récentes de GES sont les plus élevées dans l'histoire (IPCC, 2015). Le secteur de l'élevage contribue significativement au changement climatique avec une part ré-estimée à 14,5% des émissions totales de GES dues aux activités humaines (Gerber *et al.*, 2013). Les principales sources du secteur sont la production d'aliments pour le bétail (46,7%), la fermentation entérique des ruminants (39,1%), la gestion des fumiers (9,5%) et les transformations et transport des produits animaux (4,7% ; Gerber *et al.*, 2013).

Pour les émissions de GES, de fortes disparités existent entre les régions du monde. En termes d'émission totale, l'Afrique subsaharienne représente un pourcentage assez limité (4% ; FAO, 2013). En revanche, ses systèmes d'élevage, peu productifs, sont les plus émetteurs par unité de produit comparativement aux autres régions du monde. Cela est dû surtout à l'utilisation d'aliments de faible qualité nutritive et de faible digestibilité. Les intensités d'émission sont de l'ordre de 9 kg CO₂-eq/kg de lait (FPCM) contre 5 en Asie du Sud et moins de 2 en Europe de l'Ouest. Pour la production de viande, l'intensité d'émission est de l'ordre 70 kg CO₂-eq/kg de poids carcasse, soit environ 40 kg CO₂-eq/kg de poids vif (PV) contre 24 en Amérique latine et les Caraïbes et 4,6 à 7,1 kg CO₂-eq/kg de PV en Amérique et en Europe (Gerber *et al.*, 2013 ; Powell, 2014 ; Assouma *et al.*, 2014).

Vu l'importance de l'élevage dans la vie des populations, l'Afrique subsaharienne doit donc relever un double défis : celui d'accroître et d'améliorer ses productions animales pour satisfaire les besoins sans cesse croissants de sa population et celui de trouver des stratégies pour réduire ses émissions de GES (Soussana, 2013). N'y a-t-il pas des pratiques d'amélioration des productions animales capables d'atténuer significativement les émissions de GES et sur lesquels il faudrait se baser ?

Des techniques existent pour permettre une atténuation significative des émissions, pouvant atteindre une réduction de 30%, tout en apportant un gain de productivité des animaux (Dessus et Laponche, 2008 ; Gerber *et al.*, 2013). Une liste d'interventions adaptées à la zone et aux exploitations concernées a même été dressée ; elle concerne l'affouragement des animaux, la gestion des fumiers, la reproduction, la génétique et la santé animale (Mottet *et*

al., 2016). La FAO a développé un outil d'estimation des émissions de GES par le secteur d'élevage (*Global Livestock Environmental Assessment Model-interactive tool : GLEAM-i*) qui permet de réaliser des inventaires d'émissions de GES et d'évaluer des scénarios d'intervention à l'échelle des territoires (FAO, 2016 b).

Le travail mené s'inscrit dans cette optique d'évaluation des émissions de GES et porte sur le thème suivant : « **Evaluation de l'effet de pratiques d'amélioration des productions animales sur l'émission de gaz à effet de serre sur un territoire agro-pastoral d'Afrique de l'Ouest** ». Le projet consiste à évaluer à l'aide de l'outil GLEAM-i, à l'échelle d'un territoire agro-pastoral de l'Ouest du Burkina Faso (Koumbia), les émissions des GES dues à l'élevage de bovins et les effets attendus de l'implémentation des pratiques d'amélioration des productions animales sur ces émissions. Les scénarios d'amélioration des productions animales choisis par les acteurs pour simulation portent sur l'alimentation des animaux et la gestion des fumiers. Peu d'études ont été menées en Afrique de l'Ouest sur l'émission des gaz à effet de serre par le secteur d'élevage en général et par les bovins en particulier (Arthur et Baidoo, 2011 ; Asouma *et al.*, 2014 et Mottet *et al.*, 2016). L'évaluation à l'échelle de la commune rurale de Koumbia, sur laquelle des données existent déjà, permettra de discuter des interventions proposées et de leur mise en œuvre avec les acteurs de terrain.

Le Burkina Faso, un pays d'Afrique de l'Ouest, a une vocation agro-pastorale importante puisque l'élevage et l'agriculture occupent plus de 80% de la population active (MRA, 2010). L'élevage qui contribue déjà à plus de 18% au Produit Intérieur Brut (PIB) et à 26% des exportations totales (MRA, 2010 ; 2015) attend encore d'être amélioré grâce au nouveau référentiel de développement économique et social (PNDES, 2016) dans le contexte particulier de changement climatique (INDC, 2015). Il est alors opportun de scruter tous les horizons pour satisfaire le besoin d'amélioration des productions animales tout en s'alignant dans la démarche mondiale de lutte contre le réchauffement climatique. Les résultats de cette étude pourraient donc constituer un référentiel local sur l'atténuation de l'émission des GES des systèmes d'élevage des pays du Sud et une contribution à la lutte mondiale contre le réchauffement climatique.

Notre objectif global consiste à évaluer l'effet des pratiques d'amélioration des productions animales sur l'émission des GES sur un territoire agro-pastoral d'Afrique de l'Ouest.

De façon spécifique, il s'agit de :

- Définir avec les acteurs des scénarios d'intervention pour l'amélioration des productions animales (alimentation des animaux, gestion des fumiers) ;

- Evaluer l'impact de ces interventions sur les émissions de GES et sur les productions animales ;

- Identifier avec les acteurs les contraintes liées à la mise en œuvre des interventions retenues.

Deux hypothèses ont été émises :

- Des scénarios sur l'alimentation et la gestion du fumier permettent d'améliorer la production des animaux ;

- Des scénarios sur l'alimentation et la gestion du fumier permettent de réduire efficacement l'émission des GES issus des élevages.

Pour restituer les résultats de ce travail, après cette introduction, nous détaillerons deux grandes parties. La première partie portera sur la synthèse bibliographique qui nous a permis de faire l'état des lieux des connaissances sur les GES, de cerner la part du secteur de l'élevage dans les émissions et de présenter les défis et atouts des systèmes d'élevage d'Afrique de l'Ouest face au changement climatique. La deuxième partie, intitulée "étude expérimentale", nous renseignera d'une part sur le matériel et la méthodologie de recherche utilisés sur le terrain dans la commune de Koumbia et d'autre part sur les résultats et leurs discussions. Une brève conclusion viendra clore notre manuscrit.

Première Partie : Synthèse bibliographique

1.1. GENERALITES SUR LES GAZ A EFFET DE SERRE (GES)

1.1.1. Phénomène de "l'effet de serre"

L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet la vie sur la terre. En effet, une partie du rayonnement solaire incident est absorbée par les océans et les sols, où elle est convertie en chaleur, réchauffant ainsi la surface terrestre et l'air au-dessus (Environnement Canada, 2005 ; Séguin et Soussana, 2008). La vapeur d'eau dans l'atmosphère et plusieurs gaz dits « à effet de serre » forment une barrière autour de la surface du globe. Celle-ci réduit les déperditions de la chaleur émanant de la Terre, permettant ainsi à la basse atmosphère de se maintenir à une température moyenne de 15°C à sa surface. Sans ce phénomène, il ferait environ -18°C à la surface du globe et toute vie serait alors impossible (Marniesse et Filipiak, 2003 ; Jaques et Le Treut, 2004). C'est la capacité de ces gaz à absorber la chaleur et à en diffuser une certaine quantité à la surface de la Terre à la manière d'une serre artificielle qui a donné l'appellation « gaz à effet de serre » (Environnement Canada, 2005 ; Nature Québec *et al.*, 2011).

1.1.2. Types de GES

Il y a plusieurs types de GES (**Tableau I**). Certains sont naturels et même indispensables à l'équilibre climatique, leur effet néfaste est donc négligeable. D'autres sont d'origine anthropique autrement dit liées aux activités de l'homme. Ce sont ces activités, sources de l'effet de serre additionnel, qui sont mises en débat dans la contribution au réchauffement climatique. Les différents gaz émis n'ont pas la même durée de vie dans l'atmosphère ni le même pouvoir de réchauffement global (PRG), ils n'ont donc pas le même impact sur le climat. De ce fait, pour mieux estimer les émissions et le réchauffement climatique dans le monde, l'unité de mesure retenue est le CO₂-équivalent (CO₂-eq ; **Annexe 3a**).

1.1.3. Etat des émissions anthropiques dans le monde

Le développement des activités humaines modernes, dont le transport, l'industrie, la déforestation et l'agriculture (Bouwman, 1997) est aujourd'hui responsable de l'émission annuelle massive de 49 Giga tonnes de CO₂-eq (Gerber *et al.*, 2013). Les trois principaux GES néfastes sont le CO₂, le CH₄ et le N₂O ; ils représentent plus de 90% des émissions anthropiques (IPCC, 2013). Leur concentration dans l'atmosphère a considérablement augmenté depuis l'ère industrielle (vers 1850) : de 35 % pour le CO₂, de 148 % pour le CH₄ et de 18 % pour le N₂O (MDDEP, 2011). Certains des GES ont un PRG important ou une longue durée de vie dans l'atmosphère (N₂O, gaz fluorés). Selon les estimations de la FAO

(FAOSTAT, 2016), les pays industrialisés sont les plus grands émetteurs (**Figure 1**). La Chine totalise à elle seule 27% des émissions mondiales de CO₂-eq, suivie de très loin par les Etats Unis (14%), l'Union européenne (10%), l'Inde (6%) et la Russie (5%). Le Burkina Faso vient en 109^{ème} position avec une émission annuelle de 24,5 Méga tonnes de CO₂-eq. L'Afrique contribue à seulement 4% des émissions mondiales de GES (FAO, 2013 ; Mottet *et al.*, 2016).

Tableau I. Les principaux gaz à effet de serre

(Sources : GIEC, 2007 ; IPCC, 2013 ; Exbalin, 2014 ; Soussana, 2013, ADEME, 2014)

Nom du GES	Origine	Durée et (PRG)	Remarques	Autres sources
La vapeur d'eau (H ₂ O)	Naturelle	1 à 2 semaines	Effet néfaste négligeable sur le climat	Petit, 2013
L'ozone (O ₃)	- O ₃ stratosphérique : naturelle, protectrice - O ₃ troposphérique : nuisible, anthropique, effet indirect de la combustion des énergies fossiles.	Quelques minutes à 20°C	Couche de l'O ₃ naturelle en partie dégradée par les GES (CFC surtout).	Gerber <i>et al.</i> , 2013 ; Hristov <i>et al.</i> , 2013
Dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO ₂)	- Naturelle : respiration, digestion, putréfaction, incendies naturels - Anthropique : combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), déforestation.	50-200 ans (1)	60% de l'effet de serre anthropique	Gerber <i>et al.</i> , 2013 ; Séguin, 2008
Méthane (CH ₄)	- Naturelle : se forme dès qu'un composé organique se décompose en condition anaérobique (marécage, marais) - Anthropique : élevage intensif, riziculture, gestion de fumier, exploitation de pétrole et gaz.	9-15 ans (28)	15% de l'effet de serre anthropique	Steinfeld <i>et al.</i> , 2006 ; Gerber <i>et al.</i> , 2013 ; Martin <i>et al.</i> , 2006 ; Doreau <i>et al.</i> , 2016
Le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N ₂ O)	Anthropique: activités agricoles (engrais, gestion du fumier), combustion de la biomasse et de produits chimiques.	114-120 ans (265)	5% de l'effet de serre anthropique	Dolle <i>et al.</i> , 2011 ; Gerber <i>et al.</i> , 2013
Les halocarbures et autres gaz fluorés (CF ₄ , C ₂ F ₆ , HFC, PFC, SF ₆ ...)	Strictement anthropique : aérosol, système de réfrigération, climatisation, industrie des semi-conducteurs, fabrication de mousses...	Jusqu'à 50000 ans (>5700)	15% de l'effet de serre anthropique	Hong <i>et al.</i> , 2013

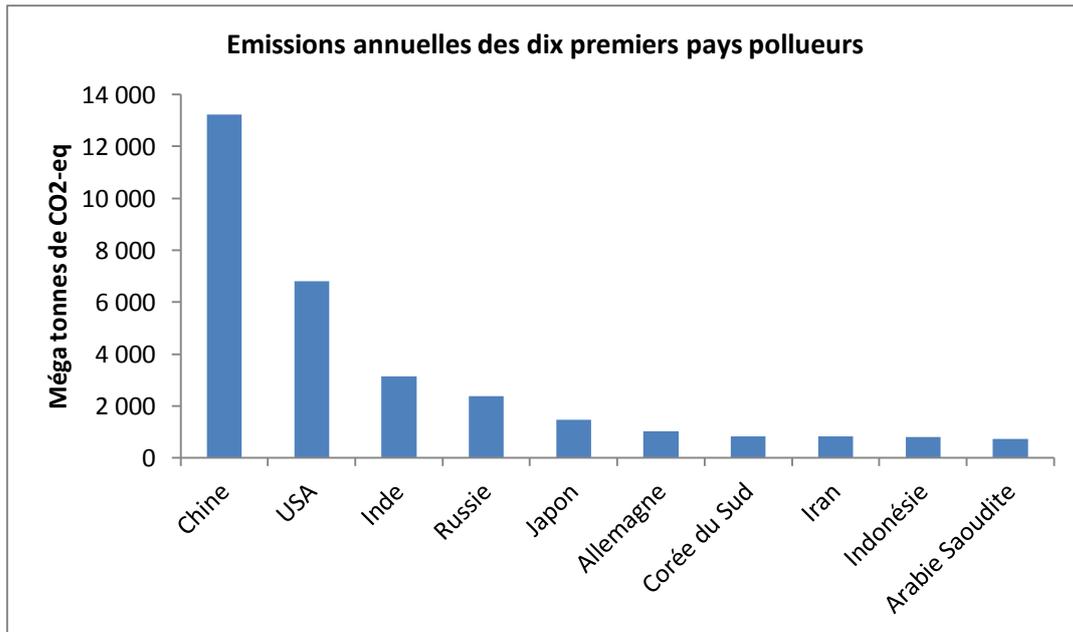


Figure 1. Les dix premiers pays émetteurs de GES (Source : FAOSTAT, 2016)

1.1.4. Conséquences des GES

Le changement climatique (CC) est la principale conséquence des GES ; il est essentiellement dû à l'accroissement de l'émission des GES d'origine anthropique (GIEC, 2007). Le CC se définit comme la variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée (Petit, 2013). Les effets du changement climatique se ressentent déjà sur les systèmes physiques et biologiques sur tous les continents avec des prévisions plus redoutables si aucun effort d'atténuation n'est entrepris (IPCC, 2013 ; 2015) :

- l'accroissement de la température globale sur la terre (entre 1 à 6°C) ;
- l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ (de 450 à 1000 ppm d'ici 2100) ;
- la fonte soutenue des glaciers ;
- l'élévation globale du niveau des mers ;
- l'augmentation des précipitations dans l'hémisphère Nord et les zones tropicales ;
- la diminution des précipitations dans les zones subtropicales de l'hémisphère Nord ;
- la récurrence des phénomènes extrêmes : canicules, froid extrême, inondations, sécheresses, vents violents, ouragans, typhons (Exbalin, 2014) ;
- la perte de la biodiversité, la dégradation des terres et agrosystèmes, etc. (Espagnol et Leterme, 2010).

1.1.5. Quelques grandes dates sur les changements climatiques

Devant l'impact néfaste des GES et l'urgente question du devenir de la Planète, les différentes Nations du monde se sont organisées et, à l'aide de Conférences, Sommets, Conventions et Protocoles, essaient de limiter les émissions à des niveaux qui garantissent le bien-être d'aujourd'hui et celui des générations futures (**Tableau II**).

Tableau II. Quelques grandes dates sur les CC

DATE	EVENEMENTS
1979	1 ^{ère} conférence mondiale sur le climat, organisée à Genève (Suisse).
1988	Création du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), chargé de suivre le problème du réchauffement climatique. Il a pour mission d'évaluer l'information scientifique sur les changements climatiques, leurs impacts et les mesures de prévention et d'adaptation envisageables.
1990	Création du Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM). Ce mécanisme financier des pays développés a pour objet d'aider les pays en développement à s'attaquer à quatre grands problèmes d'environnement, dont le réchauffement climatique et l'appauvrissement de la couche d'ozone.
1992	Adoption de la CCNUCC le 09 mai au sommet de la Terre à Rio de Janeiro (Brésil) : reconnaissant l'existence d'un changement climatique d'origine humaine et donnant aux pays industrialisés le primat de la responsabilité pour lutter contre ce phénomène. Entrée en vigueur le 21 mars 1994.
1995	Première Conférence des Parties (COP1) à Berlin (Allemagne). Adoption du principe des quotas d'émissions de GES.
1997	Sommet de Kyoto (Japon) avec élaboration du "Protocole de Kyoto" par lequel tous les pays signataires s'engagent à réduire les émissions de 5,2%. Pour la 1 ^{ère} fois ce texte avait force de Loi. Entrée en vigueur le 16 février 2005.
2001	Retrait des USA des pays signataires du Protocole de Kyoto avec l'avènement des Républicains au pouvoir.
2007	Publication du rapport GIEC 2007, sur les mesures d'atténuation.
2015	COP 21 : 21 ^{ème} conférence des Parties sur le climat : Accord de Paris (France) adopté le 12 décembre 2015. Premier accord mondial contraignant, où tous les Etats s'engagent à la limitation du réchauffement à 2°C par rapport à la période préindustrielle. Ratification de l'Accord de Paris le 04 novembre 2016
2016	COP 22 : 22 ^{ème} conférence des Parties à Marrakech (Maroc). Il avait pour objectif l'identification des mécanismes concrets d'application de l'Accord de Paris.

Source : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/dossiers/changement-climatique/chronologie.shtml>

1.2. SECTEUR D'ÉLEVAGE ET LES GES

1.2.1. Sources d'émission des GES dans le secteur d'élevage

Les GES émis par le secteur d'élevage sont le méthane, CH₄ (44%) ; le protoxyde d'azote, N₂O (29%) et le dioxyde de carbone, CO₂ (27%) pour une masse totale de 7,1 Gt CO₂-eq/an, soit 14,5% des émissions anthropiques. L'élevage des bovins représente à lui seul 4,6 Gt CO₂-eq, soit 65% des émissions du secteur d'élevage (GIEC, 2007 ; Gerber *et al.*, 2013).

Il y a une douzaine de sources de production des GES par ce secteur (**Figure 2**) que l'on peut regrouper en quatre principales : la production des aliments pour le bétail (46,7%), la fermentation entérique (39,1%), la gestion des effluents (9,5%) et le processus de transformations et de transport des produits (4,7% ; Gerber *et al.*, 2013).

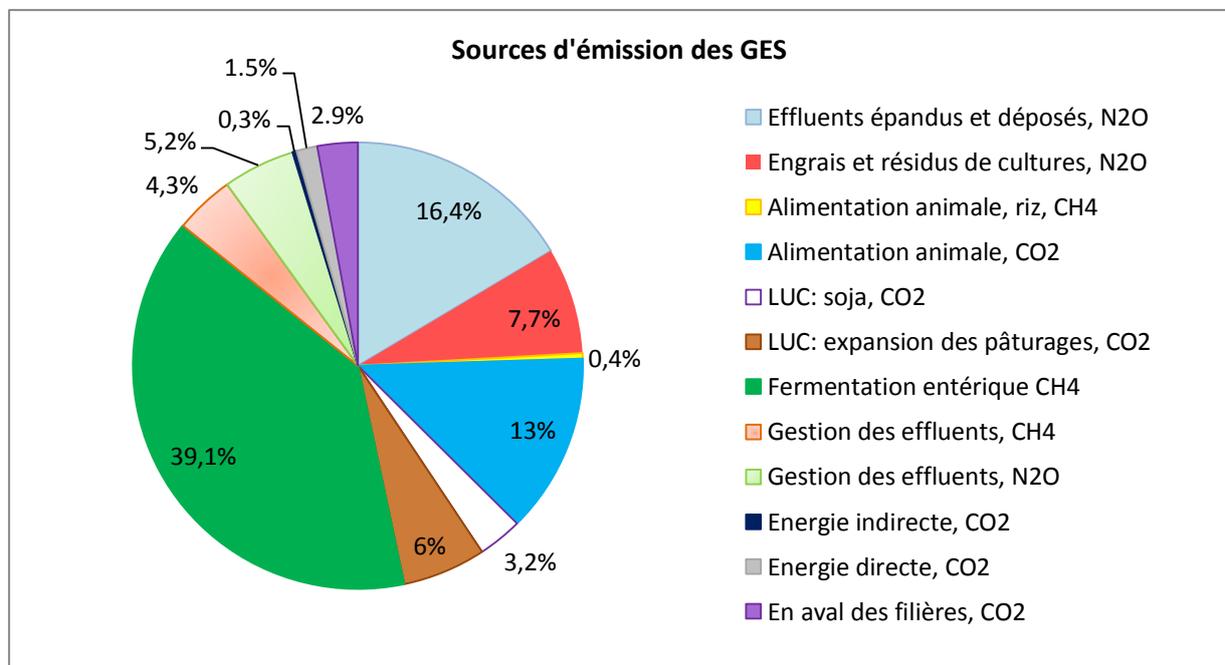


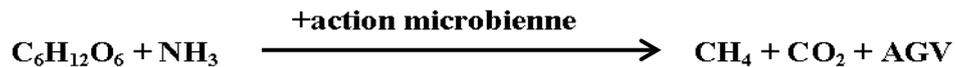
Figure 2. Sources détaillées des émissions des GES du secteur d'élevage
(Source : Gerber *et al.*, 2013)

1.2.1.1. Production d'aliments pour le bétail

La production des aliments pour le bétail génère énormément de GES, soit 47% des émissions du secteur d'élevage. La destruction de forêts pour créer des champs ou des aires de pâture réduit la séquestration du carbone par les milieux naturels. L'épandage des effluents, l'utilisation des engrais chimiques pour les cultures, l'utilisation d'énergies fossiles par les industries de fabrication d'aliment bétail, sont autant de causes d'émission des GES dans le processus de production des aliments pour le bétail (Gerber *et al.*, 2013).

1.2.1.2. Fermentation entérique

La fermentation entérique est un phénomène naturel qui se produit lors de la digestion chez les animaux surtout les ruminants ; elle a pour conséquence le rejet du méthane dans l'atmosphère. En effet, un ensemble important de microorganismes (bactéries, protozoaires, champignons, archéobactéries) présents dans le tube digestif assure la digestion des aliments ingérés (Jarrige *et al.*, 1995 ; Clos, 2012 ; Hristov *et al.*, 2013). Elle se déroule selon la réaction chimique simplifiée suivante (cf. **Annexe 1** pour le processus plus complet) :



C₆H₁₂O₆ : Glucose ; *NH₃* : Ammoniac ; *CH₄* : Méthane ; *CO₂* : Dioxyde de carbone ;
AGV : Acide gras volatils. (Source : Van Soest, 1994 cité par Hristov *et al.*, 2013).

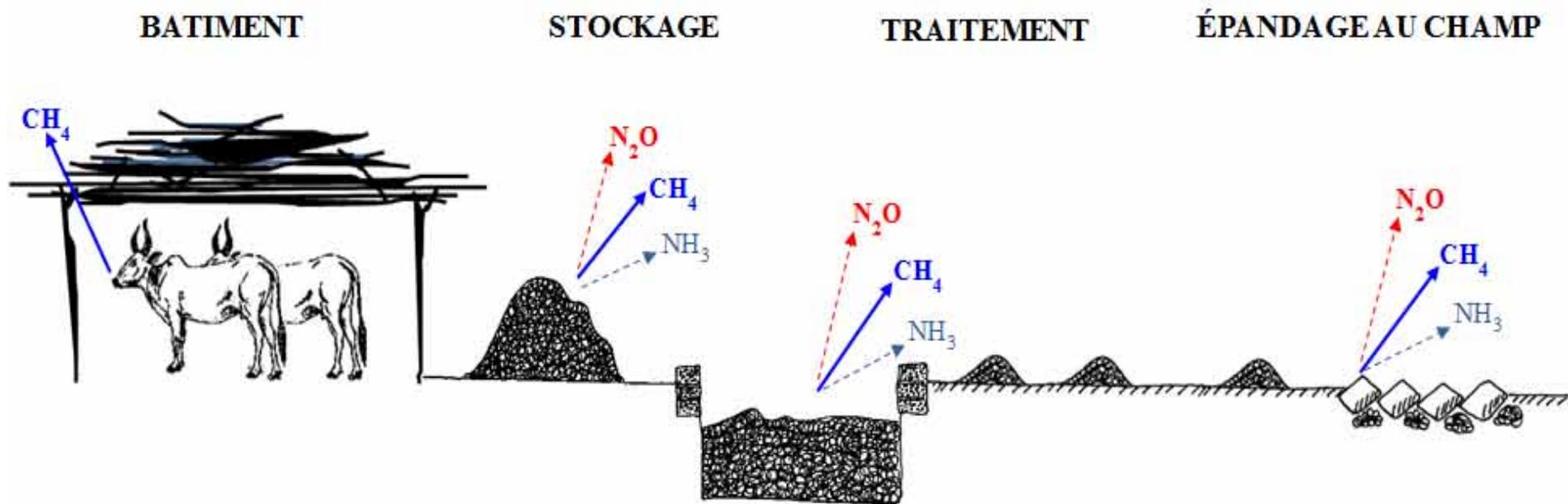
Cette réaction produit environ 39% des GES du secteur d'élevage. Le méthane (CH₄), principal gaz issu de cette fermentation microbienne est produit dans des conditions anaérobies sous l'action de micro-organismes dits "méthanogènes" (Hristov *et al.*, 2013). La quantité de fourrage ingéré, sa durée de séjour dans le rumen, sa digestibilité, sont entre autres des facteurs qui influent sur la production du CH₄ dont plus de 90% est évacué par éructation (Martin *et al.*, 2006).

1.2.1.3. Gestion des effluents

La gestion des effluents se réfère à l'accumulation, la collecte, le stockage et l'épandage des excréments des animaux dans les champs et dans la nature (Hristov *et al.*, 2013 ; Blanchard, 2015 ; Assouma *et al.*, 2017). Elle représente près de 10% des émissions du secteur d'élevage. Le principal GES émis dans cette gestion est l'oxyde nitreux (N₂O ; Peyraud *et al.*, 2014). Il se forme dans des conditions aérobies : soit directement, par l'action des micro-organismes nitrificateurs, soit indirectement à partir de composés nitreux tel que NH₃ (**Figure 3**). Les conditions anaérobiques (effluents tassés, espace confiné) forcent la formation de CH₄ au niveau des effluents. La conduite du troupeau, le logement de l'animal, la durée du stockage des effluents, la température, l'humidité et la destination du fumier influencent donc la production des GES issus de la gestion des effluents (IPCC, 2013 ; Blanchard, 2015).

1.2.1.4. Processus de transformation et de transport des produits

La quatrième principale source d'émission des GES réside dans le processus de transformation et de transport des produits d'élevage (Steinfeld *et al.* 2006). La collecte du lait, l'abattage des animaux, le traitement et conservation des produits (viande, lait) et leur transport émettent environ 5% des GES dans le secteur d'élevage.



Remarque :

- CH_4 (méthane) : émis dans des conditions anaérobies (stockage, liquide ou compact)
- N_2O (oxyde nitreux) : émis dans des conditions d'aérobiose puis anaérobiose (nitrification puis dénitrification)
- NH_3 (ammoniac) : Précurseur du N_2O
- **Facteurs influençant** : Durée du stockage, température, humidité, composition des effluents, mode de gestion des effluents

Figure 3. Emission de GES par la gestion des effluents

(D'après Blanchard, 2015)

1.2.2. Méthodes d'atténuation de l'émission des GES

Selon le GIEC (2007), l'atténuation consiste à réduire les émissions de GES en modifiant certains comportements de production et de consommation ou à séquestrer le carbone dans des puits de carbone. Il est possible de réduire conséquemment les émissions des gaz du secteur d'élevage ; même jusqu'à 30% (Gerber *et al.*, 2013). Un nombre important de voies d'atténuation des GES existe.

1.2.2.1. Atténuation par l'affouragement

Un bon affouragement du bétail (en quantité et qualité) permet de réduire les émissions du CH₄ issu de la fermentation entérique, car il y a un lien étroit entre la digestibilité de la ration, la prise alimentaire et la production du CH₄ (Hristov *et al.*, 2013).

Le traitement des aliments grossiers au cours de l'affouragement, par des moyens physiques (broyage, hachage, battage) ou chimiques (traitement à l'urée) permettant de réduire les particules, facilite la digestion dans le rumen et par conséquent, réduit la production de GES (Bougouma-Yaméogo, 1995). L'apport d'aliment riche en azote soluble ou en protéine non soluble dans le rumen permet d'optimiser l'utilisation du fourrage grossier (Sangaré, 2002). Le fourrage des espèces riches en azote et plus digestes tels que les ligneux et les légumineuses sont de bons compléments alimentaires peu méthanogènes.

L'intensification de la productivité par apport des concentrés (grains, tourteaux, sons) est aussi mise en avant pour la réduction du méthane (Vermorel *et al.*, 2008). Lorsque les quantités ingérées par l'animal augmentent et qu'il reçoit une alimentation riche en concentrés (donc pauvre en parois végétales) les pertes d'énergie sous forme de méthane diminuent (Martin *et al.*, 2006).

1.2.2.2. Atténuation par la supplémentation alimentaire

L'usage d'additifs spécifiques et la manipulation biotechnologique sont des moyens plus techniques pour réduire l'émission des GES provenant du rumen. Des additifs capables d'inhiber les micro-organismes méthanogènes ou de modifier les orientations métaboliques du rumen existent et permettent de limiter la production du méthane (Hristov *et al.*, 2013).

Le recours à des enzymes exogènes (EXE), la défaunation du rumen ou élimination des protozoaires méthanogènes, les manipulations bactériologiques du rumen par la vaccination sont autant de moyens de réduction du méthane issu de la fermentation entérique. Les lipides diététiques peuvent partiellement remplacer les céréales pour accroître le niveau énergétique de la ration. Ils présentent l'avantage de ne pas modifier le pH du rumen et de pouvoir diminuer la méthanogénèse (Martin *et al.*, 2006).

1.2.2.3. Atténuation par la gestion du fumier

- **Le bio-filtrage** : Il consiste à l'évacuation ou l'absorption de gaz précurseurs de la formation du N₂O par des moyens naturels ou biologiques ; il a une action surtout indirecte mais importante. La ventilation, l'aération des bâtiments d'élevage (hangar, étable, parc) permet d'évacuer le NH₃ qui est à la base de la formation d'une grande partie du N₂O. De même, les dispositifs d'absorption du NH₃ tels que les "litières biologiques" (*biologicals beds*) sont de bonnes pratiques et des moyens de réduction des GES provenant du fumier (Hristov *et al.*, 2013). En plus de cela, l'évacuation des odeurs améliore les conditions de vie de l'animal ; ce qui permet aux animaux d'être en bonne santé et d'émettre moins de GES.

- **L'utilisation des fosses fumières** : Elles permettent la conservation et le recyclage de l'azote dans les exploitations agro-pastorales limitant ainsi les pertes par évaporation ou par ruissellement (Blanchard, 2005). L'entreposage des fumiers est source d'émission de CH₄ et de N₂O ; la vidange régulière des fosses empêche donc une accumulation excessive de ces GES (Nature Québec *et al.*, 2011).

- **L'utilisation des bio-digesteurs** : Les gaz combustibles (CH₄) issus des fèces et urines des animaux peuvent être récupérés grâce à des bio-digesteurs et utilisés comme source d'énergie pour la cuisine et l'éclairage des foyers (Nature Québec, 2011). Le principe des bio-digesteurs est de forcer la formation de CH₄ par fermentation puis de le brûler. Les effluents issus de ces dispositifs servent ensuite pour la fertilisation des champs (Peyraud *et al.*, 2014).

1.2.2.4. Atténuation par l'amélioration génétique

La sélection d'animaux faiblement producteurs de CH₄ est envisageable même s'il s'agit d'une solution à long terme. Il existe des variations individuelles entre animaux concernant leur capacité à valoriser les rations ; la sélection d'animaux qui valorisent mieux l'énergie des rations est un aussi un moyen de réduction des émissions du méthane (Martin *et al.* 2006).

L'amélioration génétique par la sélection d'animaux plus productifs, l'intensification animale permet de réduire sensiblement la production de méthane par unité de produit animal (kg de lait ou de viande).

1.2.2.5. Atténuation par le suivi sanitaire des animaux

Un animal en bonne santé valorise mieux les aliments, produit moins de GES (Gerber *et al.*, 2013). Le suivi sanitaire des animaux par la prévention et le soin est donc un moyen d'accroissement des produits animaux et de réduction des émissions des GES (Soussana, 2013).

1.3. ELEVAGE D'AFRIQUE DE L'OUEST

1.3.1. Systèmes d'élevage en Afrique de l'Ouest

Le système d'élevage peut se définir comme « l'ensemble des techniques et pratiques mises en œuvre par une communauté pour faire exploiter dans un espace donné, des ressources végétales par des animaux, en tenant compte de ses objectifs et des contraintes du milieu » (Lhoste et Richard, 1993). Les systèmes d'élevage sont caractérisés par une grande diversité. Plusieurs critères permettent de les décrire :

- La mobilité des animaux dans l'espace, la distance et la durée de leurs déplacements ;
- Les critères d'intensification qui permettent de distinguer les systèmes extensifs, intensifs et semi-intensifs (Séré et Steinfeld, 1996) ;
- Les critères techniques c'est-à-dire le niveau d'intégration de l'élevage à l'agriculture ;
- Les critères économiques, le niveau d'investissement, la part de l'élevage dans le revenu brut (MAE, 2009).

1.3.1.1. Systèmes d'élevage traditionnels ou extensifs

Il s'agit de systèmes basés sur la pâture dans la nature ; ils sont donc extensifs, à faible niveau d'utilisation d'intrants. Les compléments alimentaires ne sont utilisés qu'en période de soudure fourragère. Il existe différents types d'élevage extensif :

- Le nomadisme

Le nomadisme se définit comme le déplacement de tout un groupe de personnes avec le bétail à la recherche de lieux propices (Lhoste et Richard, 1993). Il peut être apériodique, périodique ou de type semi-nomadisme. Le nomadisme apériodique s'effectue par des déplacements au hasard, sans que l'on puisse discerner de circuit particulier. Les nomades à déplacements périodiques vont d'une zone à une autre, sans conserver les mêmes campements d'une année à une autre. Quant aux semi-nomades, ils se déplacent d'une habitation fixe à une autre habitation fixe ou temporaire. Ce système d'élevage est en forte régression au Burkina Faso dû à la réduction des surfaces disponibles et la croissance démographique (MRA, 2010).

- La transhumance

La transhumance reste encore le mode d'élevage le plus important sur le plan numérique en Afrique de l'Ouest, elle concerne plus de 70% du cheptel bovin (FAO et CIRAD, 2014). Il est pratiqué au Burkina Faso surtout par les ethnies peulh (Kagoné, 2001). Il s'agit du déplacement saisonnier des troupeaux à la recherche de ressources alimentaires (pâturage,

point d'eau). Il s'effectue des zones plus arides vers celles plus humides ; le retour au point de départ débute avec l'installation des premières pluies dans les zones d'accueil.

Dans ce système, il n'y a pas de déplacement de toute la famille de l'éleveur. Un berger ou quelques membres de la famille conduisent le troupeau transhumant. Une partie du bétail reste au campement (les vaches allaitantes) pour satisfaire les besoins de la famille (Lhoste et Richard, 1993). On distingue généralement la petite transhumance qui se déroule à l'intérieur de la région ou du pays et la grande transhumance qui est transfrontalière (FAO, 2012).

Des accords zoo-sanitaires ou conventions sur la commercialisation du bétail et sur la transhumance transfrontalière engageant les Etats membres des institutions sous-régionales et régionales (CILSS, UEMOA et CEDEAO) ont été ratifiés mais d'importants efforts restent à faire pour la mise en application correcte de ces initiatives (FAO et CIRAD, 2014).

- Le système agro-pastoral sédentaire

Ce système s'inscrit dans les savoirs techniques locaux (Vall et Diallo, 2009) : depuis longtemps, les paysans Africains ont associé leurs activités culturelles à un petit élevage (volaille, petits ruminants, bovins) bénéficiant un tant soit peu des retombées de cette association. Aujourd'hui, l'agro-pastoralisme sédentaire est pratiqué par des agriculteurs-éleveurs ou des éleveurs-agriculteurs sédentarisés (Kagoné, 2001).

Dans ce système, les animaux, bien que nourris essentiellement par le pâturage naturel, reçoivent en saison sèche, une complémentation avec des fourrages stockés. De simple auxiliaire de l'agriculture, l'animal devient de plus en plus un moyen d'accumulation des surplus dégagés de l'activité culturelle (Vall *et al.*, 2016). Le bétail en particulier est l'archétype de l'animal multi-usage (Faye et Alary, 2001) : labour et travail du sol, transport des produits de culture, fertilisation organique, source d'argent, production de viande et de cuir en fin de carrière, production de lait, etc. (Lhoste *et al.*, 2010 ; Tinguéri, 2015). L'intégration agriculture-élevage, particulièrement la polyculture-élevage, permet de diversifier les activités et de réduire les risques face aux incertitudes saisonnières et à l'instabilité du marché. Cette association favorise donc la durabilité et l'adaptabilité dans les productions (Herrero *et al.*, 2010) et peut être considérée comme un véritable levier de développement en Afrique de l'Ouest.

- Le système d'élevage en zone pastorale aménagée

Des zones pastorales ont été aménagées dans le but de sédentariser l'élevage transhumant, de garantir la sécurité foncière des activités pastorales, d'augmenter la productivité du troupeau et de rationaliser la gestion des ressources naturelles (FAO et CIRAD, 2014). Les éleveurs

régulièrement installés dans ces zones, bénéficient d'un encadrement rapproché et d'un réseau important d'infrastructures d'élevage : points d'eau, parcs de vaccination, magasins d'intrants, mini-laiteries, etc. (Kagoné, 2001). C'est le cas au Burkina Faso des zones agropastorales de Koumbia et de Sidéradougou, de la réserve sylvo-pastorale de Gorom-Gorom...

1.3.1.2. Systèmes améliorés

A côté des systèmes traditionnels, il faut noter l'émergence de systèmes d'élevage améliorés, semi-intensifs à intensifs, pratiqués surtout en zones urbaines et périurbaines. Ces initiatives sont le fait d'éleveurs modernes et de nouveaux acteurs (fonctionnaires, retraités, commerçants, hommes d'affaires, décideurs politiques, etc.) qui investissent dans l'élevage à visée commerciale (MRA, 2010). C'est le cas d'une part, de l'élevage laitier urbain et périurbain et d'autre part de l'embouche bovine et ovine.

L'objectif visé par ces types d'élevage est de ravitailler les marchés en lait et viande de qualité compétitive. Les animaux embouchés sont le plus souvent exportés ou vendus localement à l'occasion de la fête de Tabaski. Il y a de ce fait un investissement important pour l'alimentation, le soin des animaux, le contrôle de la reproduction, l'utilisation de races productives locales, croisées ou importées (Kagoné, 2001 ; MRA, 2010).

1.3.2. Contraintes du secteur d'élevage d'Afrique de l'Ouest

1.3.2.1. Afrique et changement climatique

L'Afrique est le continent qui a les émissions les plus faibles. Pourtant, les prévisions du changement climatique sont alarmantes pour ce continent en général et pour l'Afrique de l'Ouest en particulier (GIEC, 2007). D'ici 2020, des millions d'Africains devraient souffrir d'un stress hydrique accentué par le changement climatique. Selon les prévisions du GIEC, la production agricole et l'accès à la nourriture seront durement touchés dans de nombreux pays, avec de lourdes conséquences en matière de sécurité alimentaire et de malnutrition. Vers la fin du XXI^e siècle, l'élévation anticipée du niveau de la mer affectera les basses terres littorales fortement peuplées. Le coût de l'adaptation pourrait représenter 5 à 10% du PIB, voire plus. Selon plusieurs scénarios climatiques, la superficie des terres arides et semi-arides pourrait augmenter de 5 à 8 % d'ici à 2080 (FAO, 2016 a).

Cette vulnérabilité de l'Afrique est aggravée par des facteurs non climatiques : la pauvreté, la faim, la forte prévalence des maladies, les conflits chroniques, l'accès limité aux systèmes d'assurance, le faible accès aux équipements et aux technologies, les faibles niveaux de développement et la capacité adaptative limitée (Osman-Elasha, 2009 ; Debray *et al.*, 2016).

1.3.2.2. Impact du changement climatique sur le secteur d'élevage

De nos jours, le changement climatique est l'un des plus grands défis de l'Humanité en générale (Mottet *et al.*, 2016 ; Assouma *et al.*, 2017) et de l'Afrique en particulier. Il pèse déjà durement sur l'élevage subsaharien basé essentiellement sur le pâturage naturel (Slingerland, 2000). En effet, les sécheresses, les inondations, la diminution des ressources naturelles, les maladies font régulièrement des ravages dans les troupeaux ouest-africains du fait de la mauvaise préparation des populations face à ces phénomènes (GIEC, 2007).

A cela s'ajoutent la faiblesse des techniques de productions animales, la mauvaise maîtrise de l'alimentation, la faiblesse des moyens économiques, l'impact socio-culturel et la pression foncière, d'où une faible productivité du secteur (Delma *et al.*, 2016). Malgré son importance socio-économique, le sous-secteur de l'élevage bénéficie d'une très faible part des investissements publics dans beaucoup de pays d'Afrique de l'Ouest (MRA, 2015).

1.3.3. Moyens d'adaptation au niveau de l'élevage

Le GIEC définit l'adaptation comme l'ensemble des initiatives et mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des changements climatiques réels ou prévus (GIEC, 2007). L'Afrique de l'Ouest tente de s'adapter au changement climatique par des mesures concernant les secteurs sensibles tels que l'eau, l'agriculture, l'élevage, la foresterie (Debray *et al.*, 2016). Les moyens d'adaptation touchant directement l'élevage sont entre autres :

- l'intensification, l'embouche et la stabulation des animaux ;
- le stockage de fourrages et des sous-produits agro-industriels (SPAI) ;
- le choix de races plus productives ou plus résistantes ;
- l'amélioration génétique par l'insémination artificielle et les croisements ;
- la mise en place d'aménagements pastoraux adaptés ;
- l'approfondissement des puits traditionnels ;
- la création de points d'eau modernes : forages, barrages ;
- la protection des points d'eau contre l'envasement ;
- la transhumance et la migration vers des zones riches en fourrages et en eau ;
- la valorisation des systèmes agro-sylvo-pastoraux ;
- la gestion intégrée des ressources naturelles.

1.3.4. Défis et atouts de l'élevage d'Afrique l'Ouest

L'élevage des zones des savanes cotonnières d'Afrique de l'Ouest doit faire face aux défis majeurs de fournir des revenus et une alimentation à une population en pleine croissance (Bouwman, 1997 ; Faye et Alary, 2001), de gérer durablement les espaces saturés et des ressources fragiles et de s'adapter au changement climatique (Herrero *et al.*, 2010).

En Afrique de l'Ouest, l'élevage demeure un sous-secteur primaire plein de potentialités. En plus de son expérience séculaire en matière d'élevage, l'Afrique en général demeure le continent qui dispose d'énormes terres arables à grande diversité agro-écologique (CEDEAO, 2008 ; Corniaux *et al.*, 2012) et d'une main d'œuvre abondante. L'importance numérique du bétail, le développement des marchés locaux et la demande croissante des produits d'élevage sont également des opportunités de développement de ce sous-secteur (MRA, 2015). Plusieurs systèmes sont connus ou en expérimentation pouvant permettre de maintenir durablement l'élevage et de relever le double défi d'amélioration des productions et de lutte contre le réchauffement climatique.

Il ressort de cette première partie que la lutte contre le changement climatique nécessite de se pencher sur le secteur d'élevage qui est responsable d'une part importante des émissions des GES. L'Afrique de l'Ouest, malgré sa faible contribution quantitative sur le plan mondial, enregistre des émissions parmi les plus élevées par unité de produit animal. Des voies et moyens, puisés dans les pratiques d'amélioration des productions animales, pourraient lui permettre d'atteindre une atténuation intéressante des intensités d'émissions; c'est le but de la seconde partie de notre travail.

Deuxième Partie : Etude expérimentale

2.1. MATERIEL ET METHODES

2.1.1. Site d'étude : la commune de Koumbia

2.1.1.1. Situation géographique

Cette étude a été menée à Koumbia ($3^{\circ}41'38,59''$ Ouest ; $11^{\circ}13'56,97''$ Nord), un département de la province du Tuy (Région des Haut-Bassins), sur l'axe Ouaga-Bobo à 65 km de Bobo et 35 km de Houndé, chef-lieu de province (**Figure 4**). Avec une superficie totale de 1 358 km², cette commune rurale est limitée par les communes de Houndé (au Nord), Karangasso-Vigué et Bondigui (au Sud), Lena (à l'Ouest), Boni, Fouzan et Guéguéré (à l'Est ; BEAER, 2014).

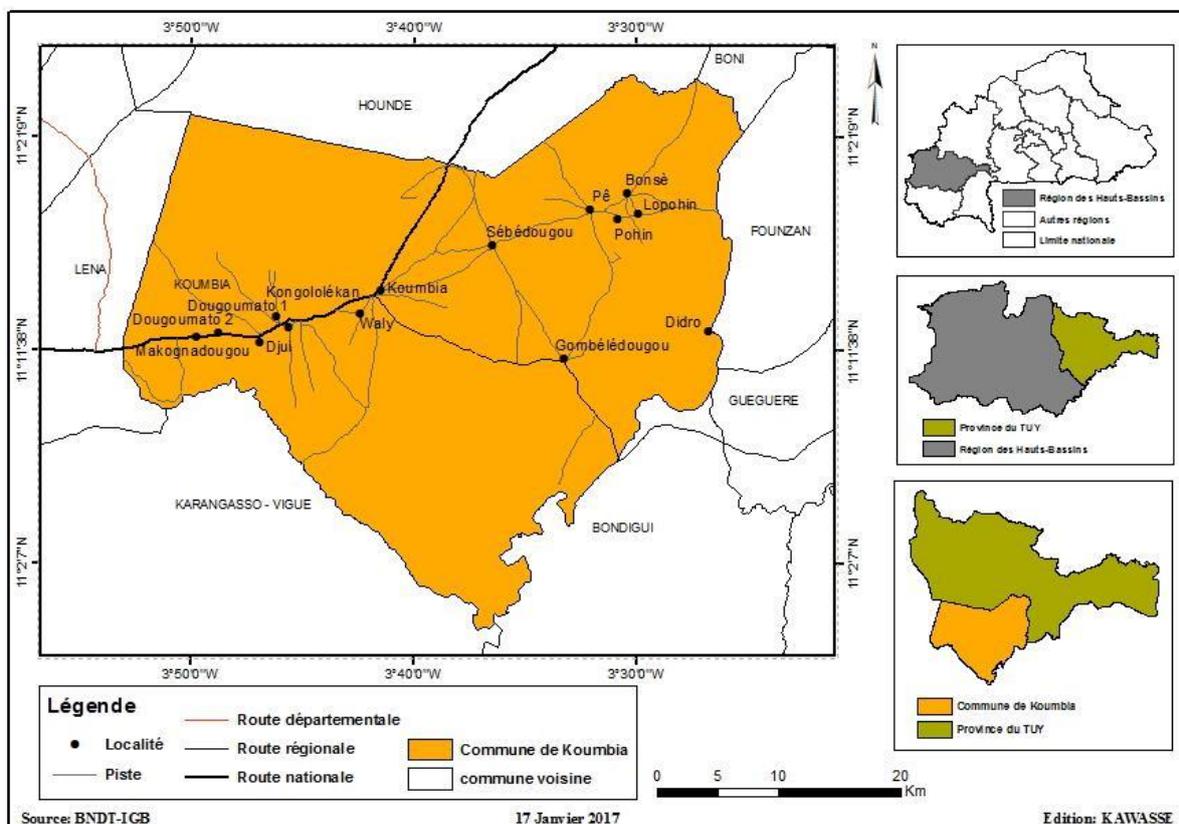


Figure 4. Carte de la commune de Koumbia (Source : BNDT-IGB, 2017)

2.1.1.2. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques de la commune de Koumbia, à savoir le relief, le climat, le réseau hydrographique, les sols et la végétation sont résumées dans le **Tableau III** ci-après.

Tableau III. Les caractéristiques physiques de la commune de Koumbia

Caractéristiques	Description	Source
Relief	Plaines et Plateaux Buttes et vallées Collines (Kongolikan à l'Ouest, Sébédougou à l'Est)	BEAER, 2014 Diallo, 2006
Climat	Type soudanien à sud-soudanien Pluviométrie annuelle comprise entre 800 et 1200 mm (Figure 5) avec 5 à 6 mois de pluies (Mai-Sept/Oct.)	FAO et CIRAD, 2014 Blanchard, 2005
Réseau hydrographique	Cours d'eau permanent : le Mou, le Poh, le Son Cours d'eau temporaire : Saramboué, Djouanhonti, Bouakali (marigot sacré), Bambou, Popi 02 retenus d'eau : à Koumbia-village et Sébédougou.	Diallo, 2006 BEAER, 2014
Sols	Sols tropicaux peu lessivés à lessivés dont trois grands types à savoir les sols gravillonnaires, les sols hydromorphes, les sols sablonneux.	BEAER, 2014
Végétation	Savane arbustives et boisées Trois forêts classées (45 700ha) : Mou, Bambou, Kapo Espèces ligneuses : <i>Vitellaria paradoxa</i> , <i>Parkia biglobosa</i> , <i>Daniela oliveri</i> , <i>Azelia africana</i> , <i>Cola cordifolia</i> , <i>Terminalia axiflora</i> ... Les herbacées : <i>Andropogon gayanus</i> , <i>A. shirensis</i> , <i>A. pseudapricus</i> , <i>Pennisetum pedicellatum</i> , ...	Blanchard, 2005 BEAER, 2014

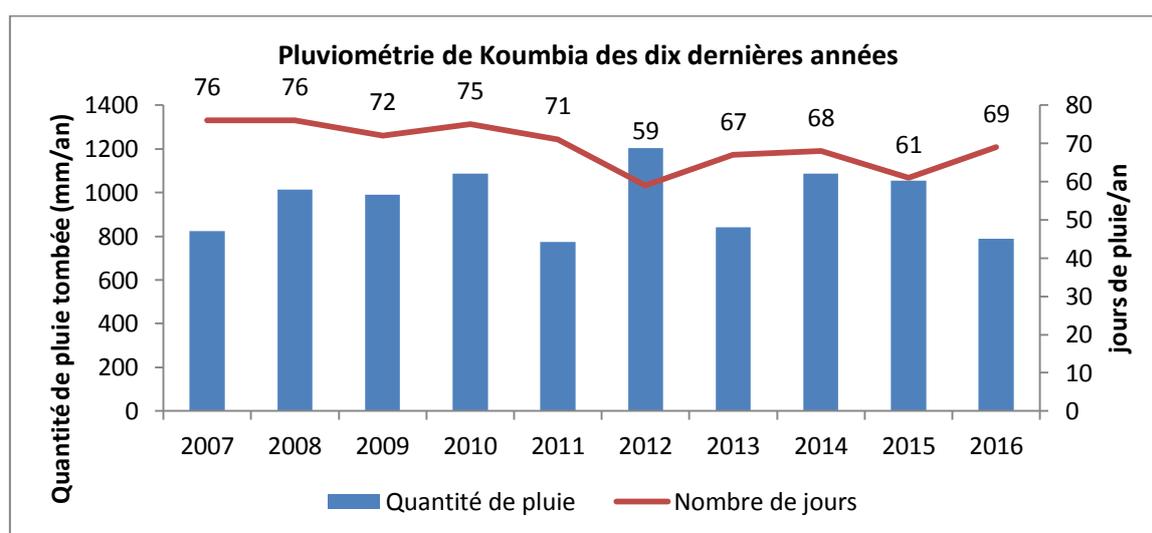


Figure 5. La pluviométrie de la commune de Koumbia
(Source : Service d'Agriculture de Koumbia, 2016)

2.1.1.3. Population et situation socio-économique

La commune rurale de Koumbia, compte quatorze (14) villages et plusieurs hameaux de culture avec une population totale estimée à 57 549 habitants en 2016 (RGPH, 2006/Projection BEAER). La densité moyenne est de 26,7 habitants/km². Les femmes représentent 51,5% de cette population et les jeunes de moins de 15 ans constituent 47,8%. Les ethnies majoritaires sont les Bwaba (autochtones), les Mossis et les Peulhs. Les autres ethnies rencontrées sont les Dagara, Samo, Dafing, Gourounsi, Goulmantché, Walla, Pougli.

La commune tire essentiellement ses ressources de la commercialisation des produits agricoles et de l'élevage (coton, maïs, animaux, lait, produits maraîchers). On y compte plus de deux cents (200) organisations de producteurs dont soixante-dix-neuf (79) groupements de producteurs de coton, soixante-huit (68) groupements de producteurs de céréales, vingt-deux (22) groupements de producteurs d'oléagineux, huit (08) groupements de maraîcher-culteurs, vingt (20) groupements d'éleveurs, etc. (BEAER, 2014). La proximité de centres villes (Bobo-Dioulasso, Houndé) et la situation de la commune sur l'axe principal Ouaga-Bobo sont des atouts pour l'écoulement des produits. Les activités minières en plein essor (orpaillage) mobilisent surtout la frange jeune de la population.

2.1.1.4. Agriculture et élevage

La commune de Koumbia est située dans le bassin cotonnier de l'Ouest du Burkina Faso (Blanchard, 2005). L'agriculture est la principale activité pratiquée par l'ensemble de la population de la commune. L'élevage de la volaille, des petits et grands ruminants y est également pratiqué ; on y compte plusieurs camps peulhs. L'exploitation du fourrage dans la nature et dans les zones protégées (forêts) permet le maintien de grands troupeaux de bovins dans la commune : il s'agit essentiellement de zébus peuls soudaniens (*Bos indicus*).

Les conflits entre agriculteurs et éleveurs existent et sont surtout dus à la restriction progressive des espaces et des ressources pastorales (Diallo, 2006). La commune compte plus de 5000 unités de production (UP) réparties en trois grandes catégories: Agriculteurs, les Agro-éleveurs et les Eleveurs (Blanchard, 2005 ; Vall *et al.*, 2012).

2.1.2. Méthodologie de recherche

La démarche méthodologique générale a consisté à l'identification des données à collecter, à la définition avec les acteurs des pratiques d'amélioration des productions animales. S'en est suivi de l'évaluation des productions et des émissions des GES par l'élevage de la commune (si ces pratiques étaient mises en place) et à un atelier de restitution.

2.1.2.1. Outil GLEAM-*i*

Le modèle mondial d'évaluation de l'élevage et de l'environnement du nom de GLEAM-*i* (Global Livestock Environmental Assessment Model-*interactive*) est un outil d'estimation des émissions de GES par le secteur de l'élevage développé par la FAO (FAO, 2016 b). C'est un modèle basé sur le système d'information géographique (SIG) qui simule les processus et les activités biophysiques le long des filières d'élevage selon une approche d'analyse en cycle de vie (ACV). Cette méthode permet une analyse beaucoup plus fine entre espèces, systèmes, régions et zones climatiques mais également entre sources d'émissions : aliments du bétail, fermentation entérique, gestion du fumier, etc. (Mottet, 2016).

Les espèces prises en compte par le modèle sont les bovins, les buffles, les porcs, les moutons, les chèvres et les poules. L'évaluation peut se faire pour une seule espèce, pour plusieurs espèces ou pour l'ensemble des six (06) espèces à la fois. En plus des émissions des GES, GLEAM-*i* calcule les productions animales : lait, viande, œufs et donne le nouvel effectif du troupeau après simulation. Cet outil de modélisation se base sur les méthodes de calcul des « émissions imputables au bétail et à la gestion du fumier » selon IPCC (2006), au 2^{ème} niveau de précision (TIER 2 ; **Annexe 3 d**). Le Modèle de GLEAM-*i* utilisé pour cette étude est la Version 2.0, Révision 1 de Septembre 2016 (FAO, 2016b ; **Annexe 2**).

GLEAM-*i* est un modèle adapté à toutes les régions du monde car il a intégré les paramètres par défaut de tous les pays du monde. Ces paramètres peuvent être modifiés lors de la simulation en fonction des précisions obtenues pour un territoire donné ou suivant les effets attendus de la mise en place d'un scénario donné.

2.1.2.2. Collecte de données bibliographiques

Plusieurs études ont été menées à Koumbia sur les pratiques agro-pastorales au niveau du village comme au niveau de la commune (Blanchard, 2005 ; 2011 ; Diallo, 2006 ; Vall et Diallo, 2009 ; Vall *et al.*, 2012 ; 2016 ; Bénagabou, 2011 ; 2013 ; Allo, 2014 ; Tinguéri, 2015). La revue bibliographique nous a permis de rassembler les informations nécessaires à l'évaluation des émissions des GES à l'aide de l'outil GLEAM-*i* : la typologie des acteurs, les effectifs des troupeaux, les modes d'alimentation d'animaux et de gestion des effluents. Elle nous a également permis de collecter les données secondaires disponibles sur la commune de Koumbia telles que les caractéristiques physiques, la pluviométrie, l'effectif de la population, les activités socio-économiques, etc. Ces informations ont été complétées par les enquêtes individuelles sur le terrain.

2.1.2.3. Elaboration de scénarios avec les acteurs

Il s'est agi de définir avec les acteurs des scénarios d'intervention visant l'amélioration des productions animales et qui pourraient réduire les émissions de GES. Près d'une vingtaine d'options possibles (**Annexe 5**), tirées de la littérature et des pratiques déjà en cours dans les exploitations, ont été discutées, leur faisabilité sur le terrain analysée avec les acteurs.

Quatre (04) scénarios d'intervention ont été ainsi retenus pour simulation avec GLEAM-*i* (**Tableau IV**). Ce sont deux (02) scénarios sur l'alimentation : la banque fourragère (S1), la complémentation à l'aide de SPAI (S2) et deux (02) scénarios sur la gestion des effluents : le parcage des animaux sous-hangars (S3) et l'utilisation de fosses fumières (S4 ; **Annexe 6**).

Tableau IV. Scénarios définis par les acteurs pour simulation

	Description	Raisons du choix par ordre d'importance	Obtention des données du scénario pour la simulation par GLEAM- <i>i</i>
S1 : Banque fourragère	<ul style="list-style-type: none"> - Constitution des réserves par fauchage et stockage du fourrage naturel, des cultures fourragères, des résidus de culture. - Réserves servies en cas de besoin (période de soudure, embouche, production laitière...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reserve de nourriture - Espèces plus riches que les autres - Culture à double vocation - Bon rendement fourrager - Expérience de la culture - Sources de vitamine - Bonne couverture du sol - Elles augmentent les productions animales - Appréciées par les animaux 	<p>Calcul des proportions en matière sèche (MS) du fourrage naturel, des cultures fourragères, des résidus de culture à utiliser dans la ration de l'année pour une amélioration des productions.</p> <p>Calcul basé sur les quantités du fourrage pâturé, les quantités de stocks utilisés dans la ration...</p>
S2: Complémentation à l'aide de SPAI	<ul style="list-style-type: none"> - Achat et stockage des grains, des tourteaux, des drèches, des sons de céréales, du sel... - Réserves servies en cas de besoin (période de soudure, embouche, production laitière...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Les SPAI donnent la force et bonne forme aux animaux - Le son accroît la production du lait - Le tourteau est bon pour l'embouche - Les SPAI sont source de vitamines - Ils sont faciles à manger, digestes - Bonne conservation 	<p>Calcul de la proportion en MS des SPAI (tourteaux, sons, drèche, grains...) à utiliser dans la ration des animaux de l'année pour une amélioration des productions.</p> <p>Calcul basé sur les quantités de SPAI fournies par les acteurs et des autres aliments utilisés.</p>
S3 : Parcage des animaux sous-hangars	<ul style="list-style-type: none"> - Confection d'un hangar, parcage et alimentation des animaux sous le hangar - Ramassage des déjections mêlées aux refus alimentaires pour épandage dans les champs ou dépôt dans des fosses fumières. 	<ul style="list-style-type: none"> - Procure de l'ombre - Protège des intempéries - Production de la fumure organique - Stockage de fourrage - Limite le déplacement des animaux - Permet un contrôle de l'alimentation - Assure une séparation du reste du troupeau - Améliore les productions animales - Facilité des soins à apporter 	<p>Calcul de la proportion en MS des effluents ramassés dans l'année sous le hangar, épandus dans les champs, déposés sous formes solides...</p> <p>Calcul basé sur les quantités d'effluents déposés sous le hangar, au pâturage...</p>

S4 : Utilisation de fosse fumière	<ul style="list-style-type: none"> - Creusage d'une fosse et son remplissage avec des ordures ménagères des résidus de culture, des déjections... - Arrosage, retournement - Vidange de la fosse et épandage du fumier dans les champs 	<ul style="list-style-type: none"> - Production de la fumure organique - Pourriture des mauvaises graines - Produit une fumure de bonne qualité - Assure la propriété de la cour - Assure la propriété des lieux de parage des animaux 	<p>Calcul de la proportion en MS des effluents déposés dans la fosse, épandus dans les champs, déposés sous formes solides....</p> <p>Calcul basé sur les quantités des effluents déposés dans la fosse et épandus ailleurs au cours de l'année</p>
--	---	---	---

2.1.2.4. Collecte des données de terrain

2.1.2.4.1. Choix de l'échantillon

Pour échantillonner les exploitations, nous nous sommes basés sur une typologie déjà établie par des études antérieures sur Koumbia (Blanchard, 2005 ; Vall *et al.*, 2012) : les agriculteurs (A), les éleveurs (E) et les agro-éleveurs (AE). Nous avons recueilli les informations auprès de vingt-six (26) producteurs dont dix (10) agriculteurs, dix (10) éleveurs et six (06) agro-éleveurs (**Tableau V**). Le choix des individus dans chaque catégorie a été fait de manière aléatoire à l'aide du logiciel XLSTAT 2007. Cet échantillonnage raisonné est basé sur l'importance numérique des bovins et de la population des différentes catégories sur le territoire (**Figure 6**).

Tableau V. Typologie des acteurs enquêtés

Typologie	Taille du troupeau (bovins)	Superficie exploitée (ha)	Remarques	Nombre d'enquêtés
Agriculteurs (A)	0 à 10	3 à 11	Ils cultivent le coton destiné à la vente et les céréales pour l'autoconsommation ; 70 % d'entre eux possèdent des bœufs de trait.	10
Éleveurs (E)	10 à >100	< 6	Ils cultivent des céréales pour l'autoconsommation, mais tirent leur revenu des troupeaux de ruminants.	10
Agro-éleveurs (AE)	18 à > 40	6 à > 40	Ils forment un type émergent issu de la sédentarisation des éleveurs ou de l'acquisition de cheptel par les agriculteurs pour diversifier les sources de revenus.	6

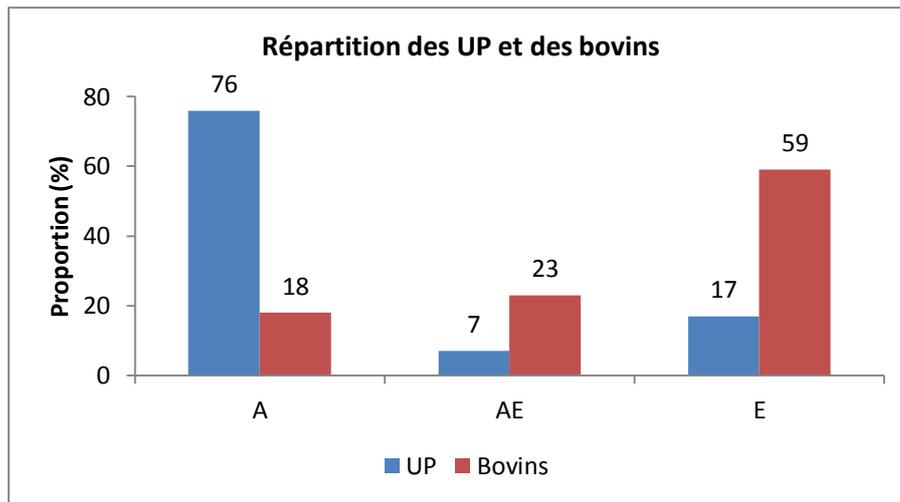


Figure 6. Répartition des UP et bovins par catégories sur le territoire

2.1.2.4.2. Enquête individuelle : situation de référence et scénarios

Deux questionnaires nous ont permis de recueillir les informations utiles auprès des acteurs choisis (**Annexe 4**). Le premier a concerné les effectifs des animaux et les pratiques actuelles des acteurs en matière de conduite des troupeaux, d'alimentation et de gestion des déjections des animaux. Le résultat obtenu de ce questionnaire, après simulation à l'aide de l'outil GLEAM-*i*, constitue la situation de référence (So) : c'est l'état actuel des productions et des émissions de GES dans la commune rurale de Koumbia.

Le second questionnaire a recueilli les informations relatives à la mise en œuvre des quatre (04) scénarios que sont la banque fourragère, la complémentation à l'aide de SPAI, le parcage des animaux sous-hangars et l'utilisation de fosse fumièrre. La simulation de chaque scénario a permis, après comparaison avec la situation de référence, de savoir les effets de la mise en place du scénario sur l'émission des GES et sur les productions animales.

2.1.2.5. Analyse statistique des données

Les données récoltées dans la bibliographie puis sur le terrain ont été saisies et traitées à l'aide du tableur Microsoft Excel 2010. Elles ont ensuite été soumises à la modélisation à l'aide de GLEAM-*i*. La liste des variables d'entrée pour la simulation est consignée dans le **Tableau VI** et celle des variables de sortie dans le **Tableau VII**. L'analyse statistique des données a été faite avec le logiciel XLSTAT 2017 version 19.4.45301. Le test de Kruskal-Wallis au seuil de probabilité (p) de 5% a été effectué sur les données et les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Conover-Iman a été appliquée lorsque les différences de moyennes sont significatives. Les résultats sont significatifs lorsque $p < 0,05$ et montrent une tendance lorsque $0,05 < p < 0,1$.

2.1.2.6. Restitution aux acteurs

Un compte rendu sur le résultat de la simulation a été fait aux acteurs lors d'un atelier de restitution. Grâce aux échanges et débats, les différentes contraintes de mise en place des scénarios retenus ont été répertoriées ; des solutions également ont été proposées face à ces contraintes. En somme, il s'agissait, après une classification préférentielle, d'établir pour chaque scénario retenu, un ensemble de contraintes associé d'hypothèses de solutions.

Tableau VI. Variables d'entrée de GLEAM-i

Variables d'entrée	Détails des variables	Unités
Type de simulation	Situation de référence	--
	Scénario	--
Espèces	Bovins laitiers	--
	Bovins viande	--
Système d'élevage	Extensif (pâturage)	--
	Semi-intensif (mixte)	--
Effectifs du troupeau	Vaches reproductrices	Tête
	Taureaux reproducteurs	Tête
Paramètres zootechniques	Age de 1 ^{ère} mise bas	semaine
	Taux de fertilité des femelles	%
	Taux de mortalité des jeunes femelles	%
	Taux de mortalité des jeunes mâles	%
	Taux de mortalité des adultes	%
	Taux de remplacement des femelles	%
	Poids à la naissance	kg
	Poids des femelles adultes	kg
	Poids des mâles adultes	kg
	Poids des femelles à l'engraissement	kg
	Poids des mâles à l'engraissement	kg
	Quantité annuelle de lait	kg
	Taux de matière grasse du lait	%
Taux de protéines du lait	%	
Alimentation	Fourrage (frais, sec, pailles, fanes...)	%
	Grains (maïs et autres céréales)	%
	SPAI (tourteaux, sons, drêche...)	%
Gestion du fumier	Pâturage	%
	Etable/parc	%
	Stockage solide/tas	%
	Epannage quotidien	%
	Bio-digesteur	%
	Brûler directement	%
	Liquide/lisier	%
Bassin anaérobique ouvert	%	

Tableau VII. Variables de sortie de GLEAM-*i*

Variables de sortie	Détails des variables	Unités
Type de simulation	Situation de référence	--
	Scénario	--
Effectifs du troupeau	Total recalculé par GLEAM- <i>i</i> ^a	tête
Productions	1 : Quantité de viande (carcasse)	kg
	2 : Quantité de lait (frais)	kg
Emissions	3 : Total des émissions	kg de CO ₂ -eq
	4 : Total des émissions par GES	100%
	- Quantité de CH ₄	kg de CO ₂ -eq et %
	- Quantité de N ₂ O	kg de CO ₂ -eq et %
	- Quantité de CO ₂	kg de CO ₂ -eq et %
	5 : Emission par espèce et par source	kg de CO ₂ -eq
	- Production alimentaire	kg de CO ₂ -eq
- Fermentation entérique	kg de CO ₂ -eq	
- Gestion du fumier	kg de CO ₂ -eq	
- Transformation et transport	kg de CO ₂ -eq	
Sources d'émissions	6 : Sources d'émission	--
	- N ₂ O, engrais et résidus de culture	%
	- N ₂ O, épandage de déjections	%
	- N ₂ O, gestion et stockage du fumier	%
	- CH ₄ , fermentation entérique	%
	- CH ₄ , gestion du fumier	%
	- CO ₂ , transformation et transport	%
Comparaison GLEAM-<i>i</i> et IPCC-Tier1	7a : Situation de référence	kg de CO ₂ -eq et %
	7b : Scénario	kg de CO ₂ -eq et %
Intensité des émissions	8 : Intensité d'émission par produit (protéine de viande et protéine de lait) ^b	kg de CO ₂ -eq/kg de protéine

Nota Bene :

a) Le calcul est effectué automatiquement par GLEAM-*i* à base des effectifs des animaux reproducteurs et des paramètres zootechniques liées à la reproduction.

b) Par ces résultats nous avons déduit les intensités d'émission par kg de viande et de lait en appliquant 23% de protéine dans la viande et 3,3% dans le lait frais. Pour obtenir les quantités en poids vif (PV), nous avons appliqué le rendement carcasse de 50% (Jarrige, *et al.*, 1995). Pour obtenir les quantités de lait standardisé (*Fat and Protein Corrected Milk : FPCM*) à partir du lait frais, nous nous sommes basés sur la formule proposée par Gerber (FAO, 2010 ; Gerber *et al.*, 2011) : $FPCM (kg) = M (kg) \times [0,337 + 0,116 \times FC (\%) + 0,06 \times PC(\%)]$
M : Quantité de lait frais ; *FC* : Taux de matière grasse ; *PC* : Taux de protéine (Annexe 3e).

2.2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.2.1. Présentation des résultats

Les résultats de ce travail sont principalement les productions animales, les émissions des GES (sur la base des références bibliographiques et des enquêtes) et l'effet de la mise en place des scénarios d'amélioration des productions animales sur l'émission des GES. A cela s'ajoutent les contraintes liées à la mise en place des scénarios, les différentes pratiques de conduite des animaux et les périodes de complémentation des animaux sur le territoire de Koumbia.

2.2.1.1. Productions et émissions des GES sur la base des références bibliographiques

Les paramètres d'entrées recueillis dans la littérature (**Tableau VIII**) et les paramètres zootechniques des animaux étudiés (**Tableau IX**) nous ont permis de faire une simulation par GLEAM-*i* dont nous présentons les résultats dans le **Tableau X**.

Tableau VIII. Paramètres d'entrée issus des références bibliographiques

Paramètres	Détails des paramètres	Situation			Sources
		A	AE	E	
Typologie*					
Troupeau (tête)	Vaches reproductives	1 766	3 145	18 014	Vall <i>et al.</i> , 2012; Allo, 2014.
	Taureaux reproducteurs	10 676	3 882	10 599	
Alimentation (%)	Pâturage vert	54,52	56,83	57,33	Blanchard, 2005; Vall <i>et al.</i> , 2012 ; Tinguéri, 2015.
	Pâturage sec	29,01	32,05	33,26	
	Paille de maïs	2,34	5,04	2,62	
	Paille de sorgho	10,19	2,76	2,63	
	Paille de mil	0,63	0	0,4	
	Paille de riz	0,24	0,09	0,33	
	Fane de légumineuses	0,59	1,05	1,5	
	Son de céréales et autres SPAI secs	1,46	0	1,32	
	Graine	0	1,28	0	
	Tourteaux de coton	0,84	0,87	0,6	
	Drèche et autres SPAI humides	0,17	0	0,06	
Gestion du fumier (%)	Pâturage	49,98	66,82	66,76	Allo, 2014; Tinguéri, 2015.
	Etable-parc	8,73	14,56	7,15	
	Stockage solide (tas)	41,29	16,54	6,12	
	Epannage quotidien	0	20,8	19,17	

*N.B.: A : Agriculteurs, AE : Agro-éleveurs et E : Eleveurs

Tableau IX. Paramètres zootechniques

Paramètres zootechniques	Unité	Système agro-pastoral	Sources
Age moyen de mise bas	semaine	208	MEA, 2009
Taux de fertilité des femelles	%	50	MRA, 2015
Taux de mortalité des jeunes femelles	%	3,5	MRA, 2015
Taux de mortalité des jeunes mâles	%	10,5	MRA, 2015
Taux de mortalité des adultes	%	2	CEDEAO, 2008
Taux de remplacement des femelles	%	10	Opio <i>et al.</i> , 2013
Poids à la naissance	kg	20	Opio <i>et al.</i> , 2013
Poids de femelles adultes	kg	250	CEDEAO, 2008
Poids de mâles adultes	kg	275	Powell, 2014
Poids de femelle à l'abattage	kg	250	MEA, 2009
Poids de mâles à l'abattage	kg	275	MEA, 2009
Quantité annuelle de lait	kg	250	Corniaux <i>et al.</i> , 2012
Taux de MG du lait	%	4,4	Bazimo, 2016
Taux de Protéines du lait	%	3,3	Bazimo, 2016

La simulation à l'aide de GLEAM-*i* sur la base d'informations recueillies dans les références bibliographiques nous ont permis de trouver des productions et émissions présentées dans le **Tableau X** ci-dessous. A l'échelle des exploitations, les intensités d'émission décroissent de A à AE et de AE à E pour les émissions par animal et par unité de produit animal (lait et viande). A l'échelle du territoire, l'émission par animal est de 1,69 Mg CO₂-eq par an; tandis que les émissions par unité de produit sont 38,1 kg CO₂-eq par kg de PV et 9,82 kg de CO₂-eq par kg de FPCM. Sur la quantité totale des émissions, plus de 75% proviennent des bovins des éleveurs (E) suivis par les émissions des AE puis celles de A (**Figure 7**).

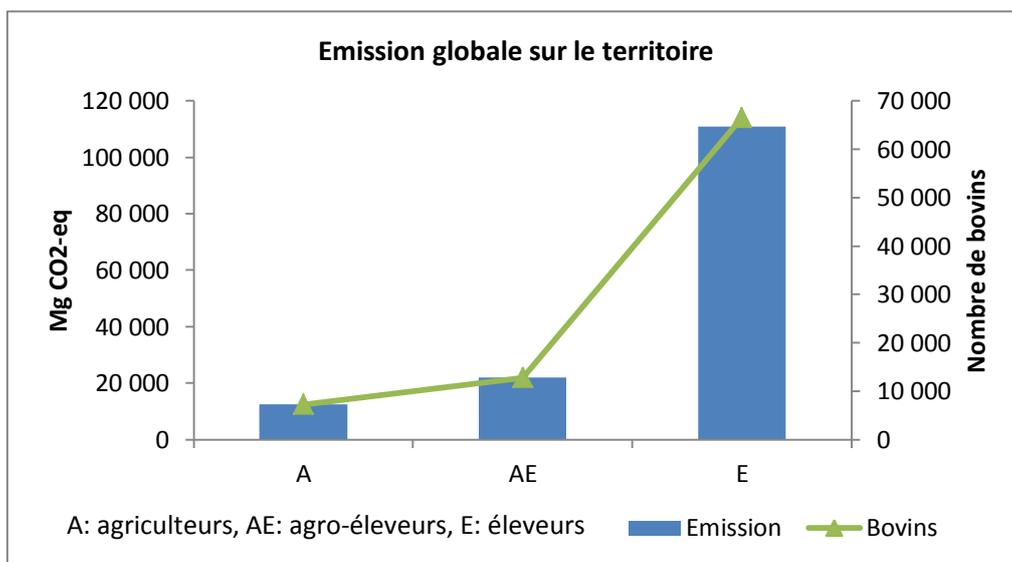


Figure 7. Emission globale de GES par type d'exploitation

Tableau X. Résultats à base des références bibliographiques

Paramètres	A	AE	E	Totaux	Moyenne pondérée
Effectif total des bovins (tête)	12 443	7 027	28 613	48 083	--
Effectif recalculé par GLEAM- <i>i</i> (tête)	7 193	12 810	66 426	86 429	--
Carcasse (tonne)	101	180	1 048	1 329	--
Poids vif (tonne)	202	360	2 096	2 658	--
Production de lait frais (tonne)	442	786	4 504	5 732	--
Production lait FPCM (tonne)	462	822	4 708	5 992	--
Emission totale de GES (Mg CO ₂ -eq)	12 495	22 032	110 781	145 308	
Proportion des émissions par UP (%)	8,60	15,2	76,2	100	
Proportion CH ₄ (%)	73	73	74		73,6
Proportion N ₂ O (%)	26	26	25		25,4
Proportion CO ₂ (%)	1	1	1		1
Emission par animal (Mg CO ₂ -eq/animal/an)	1,74	1,72	1,67		1,69
Intensité d'émission viande (kg CO ₂ -eq/kg de protéine)	336,5	332,2	328,8		331,3
Intensité viande (kg CO ₂ -eq/kg de carcasse)	77,40	76,41	75,62		76,20
Emission par unité de PV (kg CO ₂ eq/kg de PV)	38,70	38,20	37,81		38,1
Intensité lait (kg CO ₂ -eq/kg de protéine de lait)	323,8	320,6	303,4		311,2
Intensité émission lait (kg CO ₂ -eq/kg de lait frais)	10,69	10,58	10,01		10,27
Intensité émission lait FPCM (kg CO ₂ -eq/kg de FPCM)	10,22	10,12	9,58		9,82

2.2.1.2. Pratiques de conduite des animaux dans les exploitations

Les pratiques dans la conduite du troupeau des exploitations enquêtées sont basées sur trois grandes périodes : la saison des pluies (SP), la saison sèche froide (SSF) et la saison sèche chaude (SSC). Il y a des périodes intermédiaires encadrant la SP : le début de saison pluvieuse et la période de récolte.

Tableau XI. Périodes et pratiques de conduite des animaux

Périodes	Conduite des animaux
La saison des pluies : SP (mai à octobre)	C'est la période d'abondance de fourrage de bonne qualité nutritive ; la plupart des animaux sont nourris au pâturage vert sur le territoire.
A la période des récoltes	Les animaux, toujours nourris au pâturage, ont accès aux résidus de cultures de plus en plus abondants. Après les récoltes, c'est le moment de stockage des résidus de culture ; les réserves de fourrages diminuent considérablement dans les champs.
La saison sèche froide : SSF (novembre à février)	L'herbe est bien sèche en ce moment, les animaux s'en contentent et glanent quelques résidus de culture dans les champs. C'est le début de complémentation par les acteurs qui ont fait des stocks importants de fourrage.
La saison sèche chaude : SSC (mars à avril)	L'herbe est rare et sèche, il n'y a pratiquement plus de résidus de culture dans les champs. Les animaux doivent se déplacer plus à la recherche de nourritures et d'eau. Une partie du bétail du territoire va en transhumance (les bovins des éleveurs peulh surtout). C'est une période de soudure alimentaire pour les animaux ; la plupart des exploitations assurent la complémentation. Les acteurs veillent surtout au bien-être des bœufs de trait qui devront bientôt débiter les travaux de préparation du sol.
En début de saison pluvieuse	Les premières pluies font repousser quelques herbes ; c'est le retour des animaux transhumants sur le territoire. C'est la période des labours, la complémentation se poursuit pour les bœufs de trait.

2.2.1.3. Périodes de complémentation

En général, le moment habituel de la complémentation alimentaire est centré sur les mois de mars et d'avril de la SSC; avec toutefois quelques différences de pratiques d'une exploitation à l'autre (**Figure 8**).

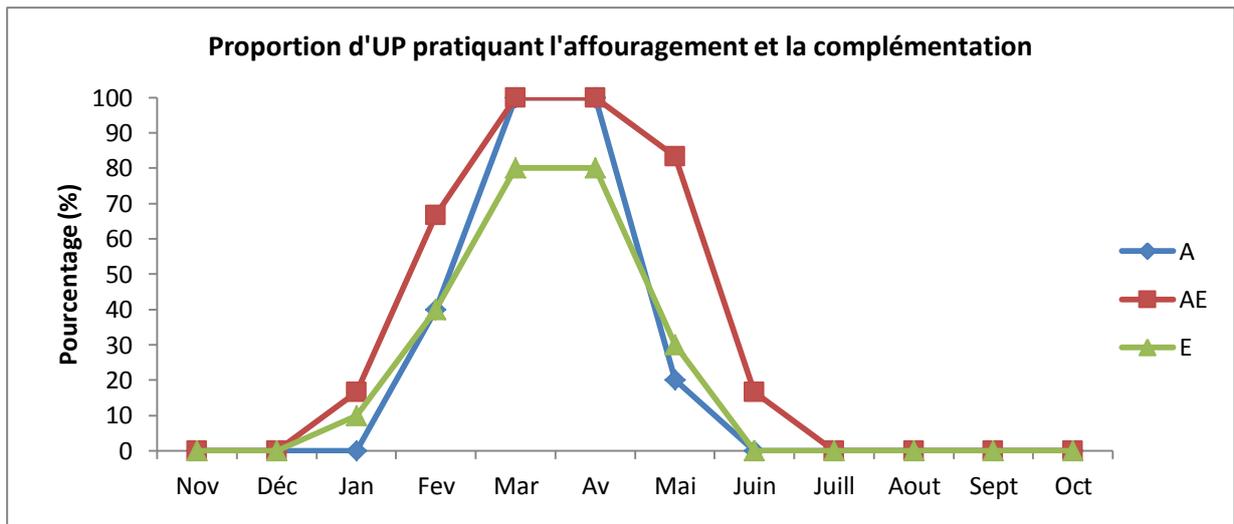


Figure 8. Périodes habituelles d'affouragement et de complémentation

Pour la simulation sur GLEAM-*i*, en plus des scénarios retenus et des raisons de leur choix, les acteurs ont défini la période propice pour la complémentation alimentaire à base des banques fourragères et des SPAI (S1 et S2). Cette période varie selon les exploitations avec une tendance à la généralisation à tous les acteurs et au démarrage précoce de la complémentation comparativement à leur pratique habituelle (**Figure 9**).

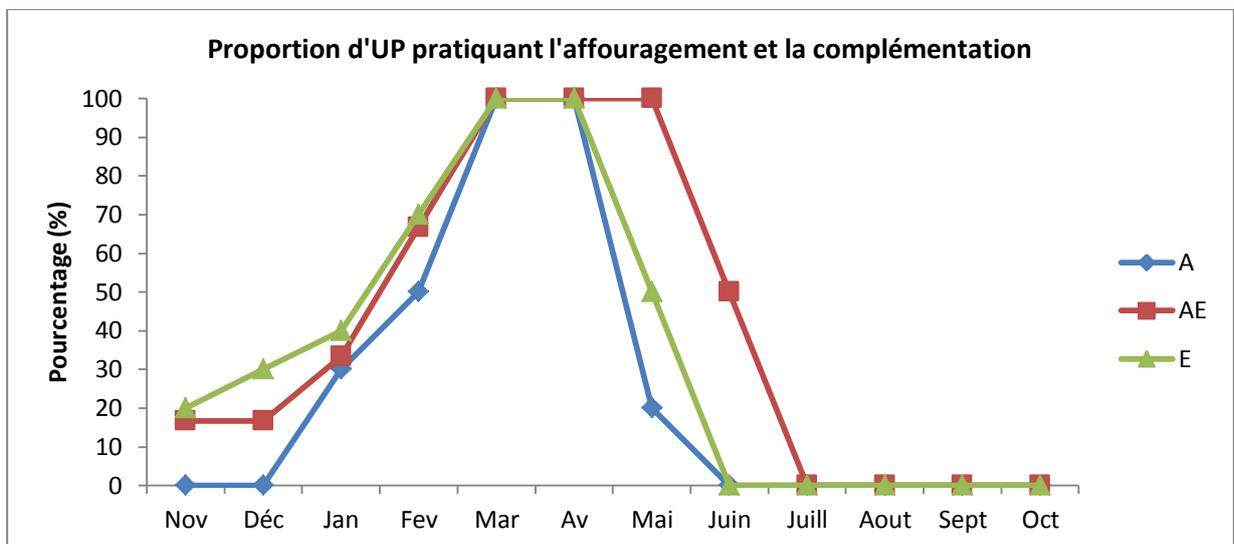


Figure 9. Nouvelles périodes d'affouragement et de complémentation

2.2.1.4. Productions et émissions des GES sur la base des enquêtes terrain

2.2.1.4.1. Paramètres d'entrées pour les enquêtes terrain

Les paramètres d'entrées qui ont permis la simulation par GLEAM-*i* sont les paramètres zootechniques du troupeau (**Tableau IX**), l'effectif du troupeau, la mode d'alimentation et de gestion des effluents (**Tableau XII**) ainsi que les améliorations de productions fixées à base d'informations recueillies dans la littérature et auprès des acteurs (**Tableau XIII**).

Tableau XII. Paramètres d'entrée de la situation de référence et des quatre scénarios

Paramètres		Situation de référence (So)			Scénario S1			Scénario S2			Scénario S3			Scénario S4		
Typologie		A	AE	E	A	AE	E	A	AE	E	A	AE	E	A	AE	E
Troupeau (tête)	Vaches reproductrices	2423	5890	18963	2423	5890	18963	2423	5890	18963	2423	5890	18963	2423	5890	18963
	Taureaux reproducteurs	8884	4154	5508	8884	4154	5508	8884	4154	5508	8884	4154	5508	8884	4154	5508
Alimentation (%)	Pâturage vert	32,29	51,48	51,55	9,28	41,59	44,79	28,64	49,79	48,24	32,29	51,48	51,55	32,29	51,48	51,55
	Pâturage sec	35,06	32,56	44,64	10,07	26,30	38,81	31,10	31,49	41,77	35,06	32,56	44,64	35,06	32,56	44,64
	Paille de maïs	13,09	7,34	1,14	40,24	8,96	8,34	11,61	6,77	1,06	13,09	7,34	1,14	13,09	7,34	1,14
	Paille de sorgho	8,78	4,07	0,62	9,90	4,67	0,99	7,79	3,93	0,58	8,78	4,07	0,62	8,78	4,07	0,62
	Paille de riz	2,07	0,43	0	4,13	0,73	0	1,83	0,42	0	2,07	0,43	0	2,07	0,43	0
	Pailles autres céréales	0	0	0,04	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0,04
	Fane de légumineuses	5,17	1,13	0,48	25,36	14,23	5,73	4,59	1,10	0,45	5,17	1,13	0,48	5,17	1,13	0,48
	Son de céréales et autres SPAI secs	0,10	0,82	0,41	0,03	0,66	0,36	2,66	2,33	3,15	0,1	0,82	0,41	0,1	0,82	0,41
	Tourteaux de coton	3,45	2,17	1,13	0,99	1,75	0,98	10,58	4,13	4,70	3,45	2,17	1,13	3,45	2,17	1,13
	Drèche et autres SPAI humides	0	0	0	0	0	0	1,21	0,04	0,04	0	0	0	0	0	0
Gestion du fumier (%)	Pâturage	26,37	24,21	36,64	26,37	24,21	36,64	26,37	24,21	36,64	16,09	19,57	32,15	26,37	24,21	36,64
	Etable/parc	31,76	34,64	42,1	31,76	34,64	42,1	31,76	34,64	42,1	13,36	26,15	41,63	9,54	25,72	36,7
	Stockage solide (tas)	38,24	30,48	6,48	38,24	30,48	6,48	38,24	30,48	6,48	66,83	43,76	11,71	60,47	39,39	11,88
	épandage quotidien	3,62	8,84	14,78	3,62	8,84	14,78	3,62	8,84	14,78	3,72	8,71	14,51	3,62	8,84	14,78
	Bio-digesteur	0	1,83	0	0	1,83	0	0	1,83	0	0	1,81	0	0	1,83	0

Les valeurs fixées en vue de la modélisation par GLEAM-*i* (**Tableau XIII**) concernent l'amélioration des productions en terme quantitatif (kg de lait et kg de viande) :

Tableau XIII. Effet d'amélioration des productions fixé pour la modélisation

Paramètres	S1	S2	S3	S4
Production laitière (kg)	+20%	+20%	+10%	+10%
Poids femelle d'abattage (kg)	+5%	+5%	+2,5%	+2,5%
Poids mâle d'abattage (kg)	+5%	+5%	+2,5%	+2,5%

2.2.1.4.2. Résultats en situation de référence (So)

Après simulation à l'aide de GLEAM-*i*, les résultats en situation de référence sont résumés dans le **Tableau XIV** ci-après. A l'échelle des exploitations, les émissions des GES dans l'année varient d'une exploitation à l'autre. Par ordre décroissant nous avons A, AE et E pour les émissions par animal et par unité de FPCM et A, E et AE pour la production de viande. Les bovins des agriculteurs (A) sont plus émetteurs de GES par unité de produits que ceux des autres exploitations (**Figure 10**). L'élevage pratiqué par les peulhs (E) est plus efficace pour produire le lait à moindre coût et celui des AE pour produire la viande.

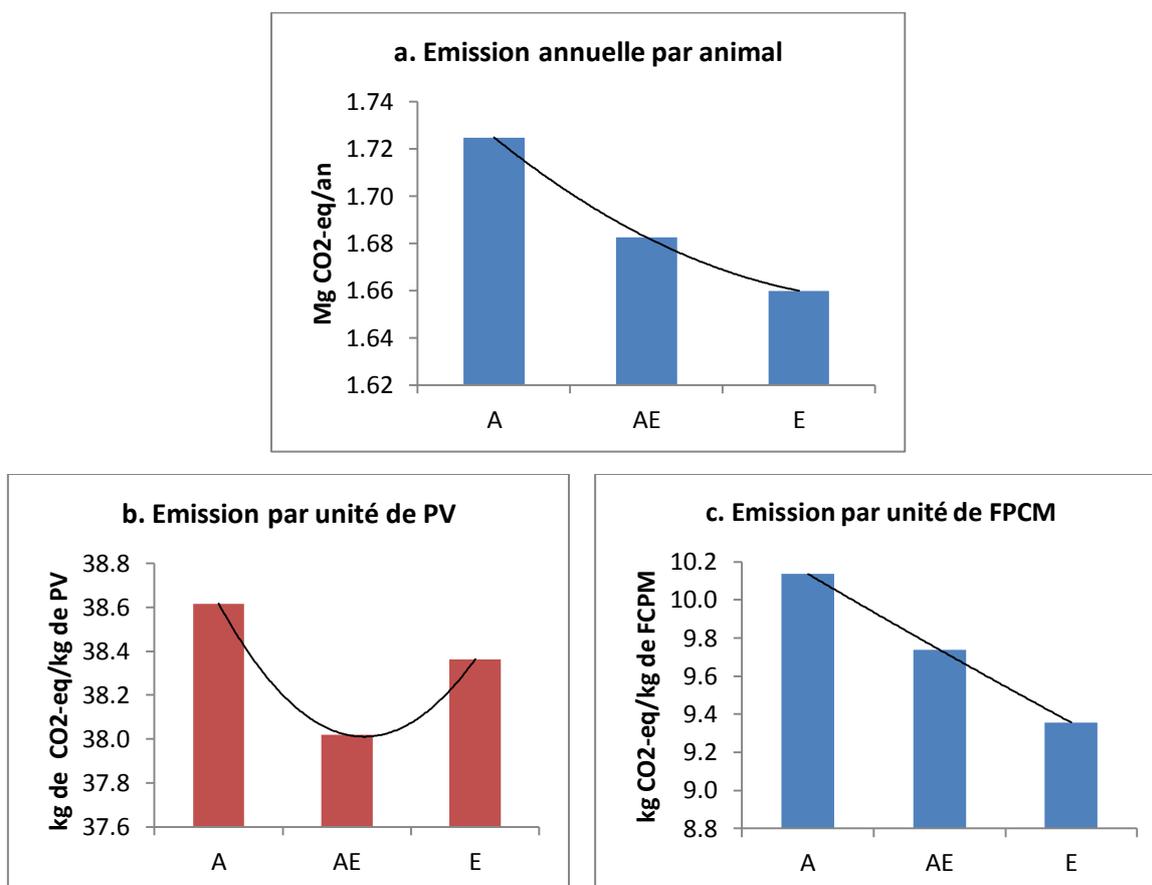


Figure 10. Les intensités d'émissions de la situation de référence

Tableau XIV. Résultats sur la situation de référence (So)

Paramètres	Au niveau des exploitations			Sur le territoire	
	A	AE	E	Totaux	Moyenne pondérée
Effectif total du troupeau (tête)	13 325	17 794	45 060	76 179	--
Effectif recalculé/GLEAM-<i>i</i> (tête)	9 869	22 408	64 276	96 553	--
Carcasse (tonne)	139	341	1 118	1 598	--
Poids vifs (tonne)	278	682	2 236	3 196	--
Lait frais (tonne)	606	1 473	4 741	6 820	--
Lait FPCM (tonne)	634	1 540	4 956	7 130	--
Emission totale de GES (Mg CO₂-eq)	17 023	37 703	106 694	161 420	--
Proportion des émissions par UP (%)	10,5	23,4	66,1	100	--
Proportion CH₄ (%)	76	71	72	--	72,5
Proportion N₂O (%)	22	27	27	--	26,1
Proportion CO₂ (%)	2	2	1	--	1,4
Emission annuelle par animal (Mg CO₂-eq/animal)	1,72	1,68	1,66	--	1,68
Emission par protéine de viande (kg CO₂-eq/kg de protéine)	335,8	330,6	333,6	--	333,3
Intensité d'émission viande (kg CO₂-eq/kg de carcasse)	77,2	76	76,7	--	77,2
Intensité d'émission poids vif (kg CO₂-eq/kg de PV)	38,62	38,02	38,36	--	38,3
Emission par protéine lait frais (kg CO₂-eq/kg de protéine)	321,1	308,5	296,4	--	303,6
Intensité d'émission lait frais (kg CO₂-eq/kg lait frais)	10,60	10,18	9,78	--	10,02
Emission par unité de lait corrigé (kg CO₂-eq/kg FCPM)	10,14	9,74	9,36	--	9,58

Pour la campagne agricole 2016-2017, la production à l'échelle du territoire est de 3 196 tonnes de PV et de 7 130 tonnes de FPCM. Les bovins des éleveurs (E) contribuent pour la majeure partie des productions (70%). Sur les 161 420 Mg de CO₂-eq d'émission totale sur le territoire (**Figure 11**) deux tiers (2/3) proviennent des bovins des éleveurs (E). Les intensités moyennes des émissions sur le territoire sont : 1,68 Mg de CO₂-eq par animal, 38,3 kg de CO₂-eq par kg de PV (soit 77,2 kg de CO₂-eq par kg de poids carcasse) et 9,58 kg de CO₂-eq par kg de FPCM. Les trois principaux gaz émis sont le CH₄ (73%), le N₂O (26%) et le CO₂ (1%).

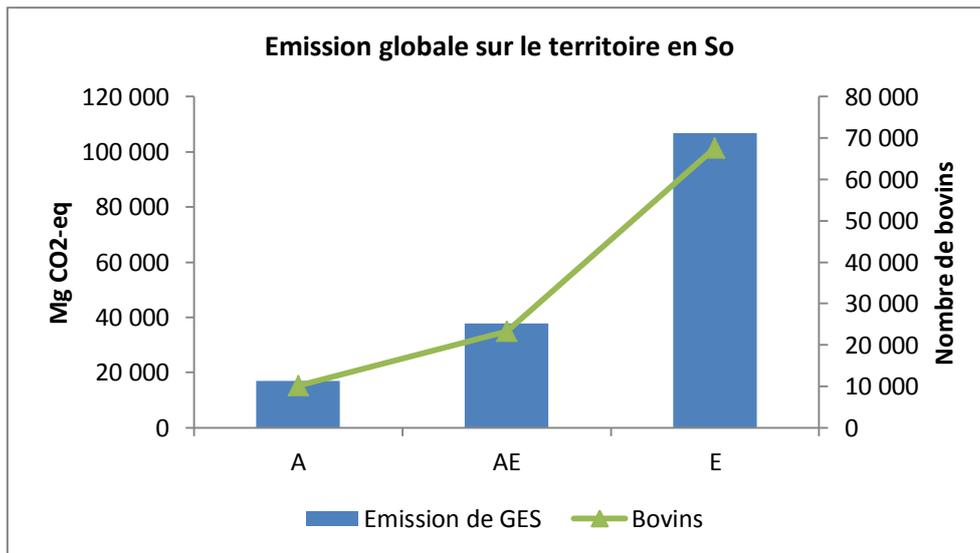


Figure 11. Emission globale sur le territoire en So

2.2.1.4.3. Résultats de la mise en place des scénarios S1, S2, S3 et S4

Le **Tableau XV** présente un ensemble de résultats issus de la modélisation par GLEAM-*i* sur la mise en place des scénarios. Les figures ci-dessous (**Figure 12**) montrent graphiquement les effets (par rapport à So) des pratiques d'amélioration des productions animales sur les quantités et les intensités des émissions des GES.

Les résultats nous révèlent que l'effet des scénarios sur les intensités des émissions est très variable. Ainsi, à l'échelle du territoire, la constitution de la banque fourragère (S1) a induit après simulation, une hausse de +3,34% sur les quantités de GES, +1,40% pour les émissions par animal et +0,68% par kg de PV. Seules les émissions par kg de FPCM ont connu une réduction significative de -13,07% par sa mise en place. La complémentation avec les SPAI (S2) quant à elle, provoque une réduction générale des intensités d'émissions, soit -1,1% par animal, -15,3% par kg de lait standardisé et -2,5% par kg de PV. La quantité globale des émissions est statistiquement semblable à celle émise en So.

Le parcage sous hangar (S3) et l'adoption des fosses fumières (S4) ont un impact de même tendance sur les émissions des GES. Leur effet sur la production laitière est de -7,78% et -7,71% et de +0,98% et +1,02% sur les quantités de GES émis respectivement pour S3 et S4. Les émissions par animal et par kg de PV n'ont pas de différence significative avec So.

Des quatre scénarios simulés, S2 a donné les meilleures réductions des émissions des GES. L'effet des scénarios a été plus important sur les émissions par kg de lait (FPCM) que sur les autres intensités. De façon générale, les agriculteurs (A) ont plus bénéficié de l'application des scénarios que les autres : ils enregistrent les plus fortes réductions des GES sur les quantités et les intensités des émissions par rapport à la situation de référence So.

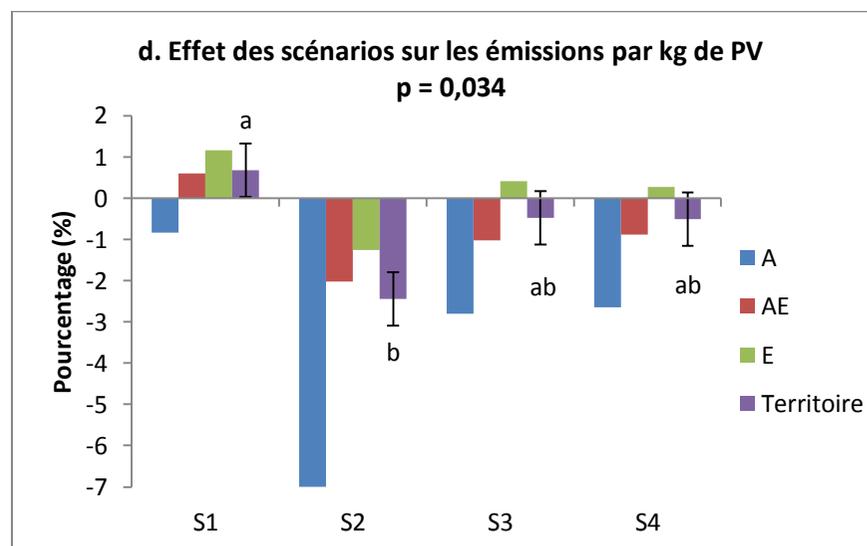
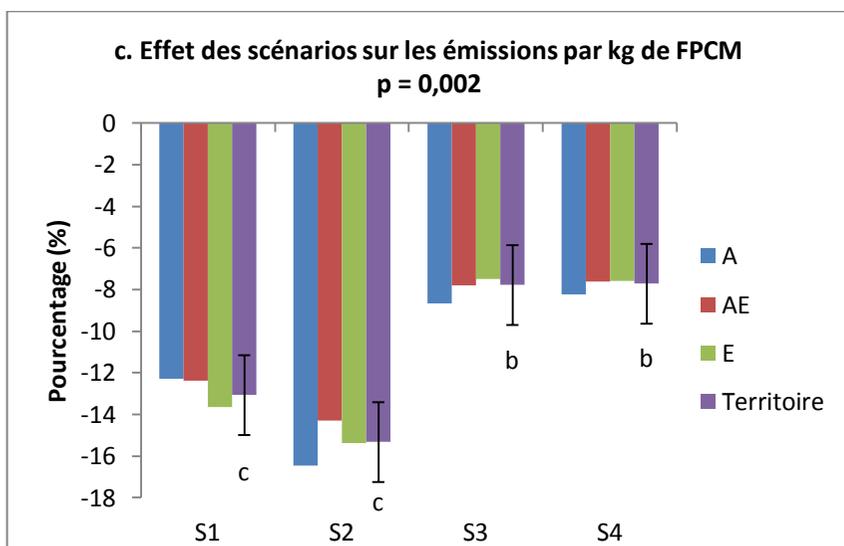
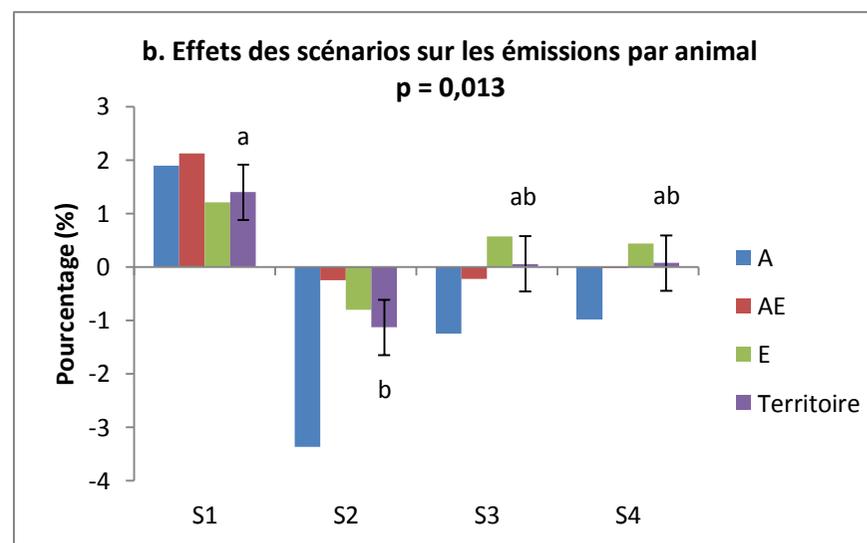
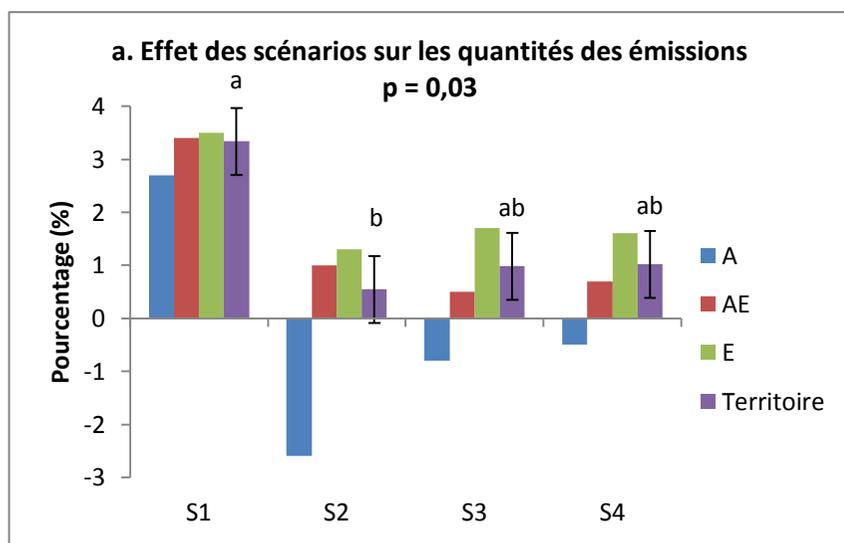


Figure 12. Effets des scénarios sur les émissions des GES

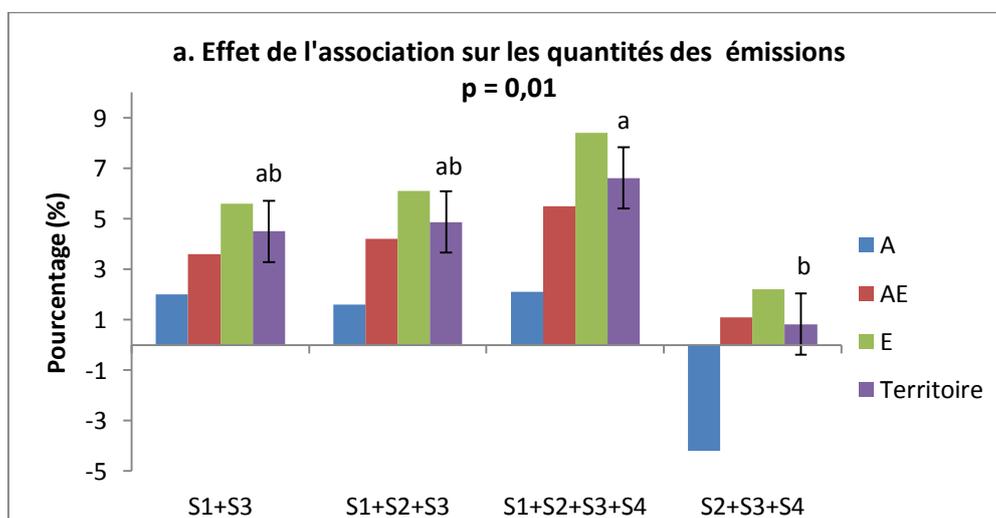
Tableau XV. Résultats de la simulation des scénarios par GLEAM-*i*

Paramètres		Emission totale de GES (Mg CO ₂ -eq)	Proportion des émissions par exploitation (%)	Effectif recalculé/GLEAM- <i>i</i> (tête)	Poids Vif (tonne)	Poids Lait corrigé (tonne)	Emission annuelle par animal (Mg/animal/an)	kg CO ₂ -eq/kg de protéine dans la carcasse	Emission par kg de PV (kg CO ₂ -eq/kg de PV)	kg CO ₂ -eq/kg de protéine dans le lait frais	Emission par unité de FPCM (kg CO ₂ -eq/kg de FPCM)
S0 Situation de référence	A	17 023	10,5	9 869	278	634	1,72	335,8	38,6	321,1	10,14
	AE	37 703	23,4	22 408	682	1 540	1,68	330,6	38,0	308,5	9,74
	E	106 694	66,1	64 276	2 236	4 956	1,66	333,6	38,4	296,4	9,36
	Territoire	161 420	100	96 553	3 196	7 130	1,68	333,3	38,3	303,5	9,58
S1 Banque fourragère	A	17 486	10,4	9 949	280	760	1,76	333	38,3	281,7	8,89
	AE	38 983	23,3	22 688	696	1 847	1,72	332,6	38,3	270,3	8,53
	E	110 450	66,3	65 610	2 304	5 947	1,68	337,5	38,8	255,9	8,08
	Territoire	166 919	100	98 247	3 280	8 555	1,70	335,6	38,6	263,8	8,33
S2 Complémentation avec des SPAI	A	16 583	10,2	9 949	280	760	1,67	312,3	35,9	268,2	8,47
	AE	38 077	23,4	22 688	696	1 847	1,68	323,9	37,3	264,4	8,35
	E	108 039	66,4	65 610	2 302	5 947	1,65	329,4	37,9	250,8	7,92
	Territoire	162 699	100	98 247	3 278	8 555	1,66	325,1	37,4	257	8,11
S3 Parcage sous hangar	A	16 890	10,3	9 916	280	696	1,70	326,4	37,5	293,3	9,26
	AE	37 882	23,2	22 564	690	1 694	1,68	327,2	37,6	284,4	8,98
	E	108 505	66,5	64 995	2 272	5 452	1,67	335	38,5	274,2	8,66
	Territoire	163 277	100	97 475	3 242	7 842	1,68	331,7	38,1	279,9	8,84
S4 Fosse fumière	A	16 936	10,4	9 916	280	696	1,71	326,9	37,6	294,7	9,3
	AE	37 958	23,3	22 564	690	1 694	1,68	327,7	37,7	285	9
	E	108 360	66,4	64 995	2 272	5 452	1,67	334,5	38,5	273,9	8,65
	Territoire	163 254	100	97 475	3 242	7 842	1,68	331,6	38,1	280,1	8,84

2.2.1.4.4. Effet de l'association de scénarios

Dans la pratique, les acteurs combinent plusieurs scénarios pour l'alimentation et la gestion des effluents de leur troupeau. Il y a d'abord l'association S1+S3, car les cultures fourragères ou les résidus de cultures sont généralement stockés sur des hangars qui servent aussi de lieux de stabulation et d'affouragement des animaux en saison sèche. En plus de cette association, il arrive que l'éleveur complète l'alimentation de ses animaux avec des SPAI donnant lieu à l'association S1+S2+S3. Beaucoup d'acteurs pratiquent une intégration plus complète : ils alimentent leur bétail de banque fourragère et de SPAI, les stabilise sous hangar et récupèrent les déjections pour les fosses fumières : ce qui donne alors S1+S2+S3+S4. L'association S2+S3+S4 existe également car, pour certains acteurs, les animaux du retour du pâturage reçoivent une complémentation alimentaire à base de SPAI seulement et sont stabilisés sous hangar ; leur déjection est alors récupéré pour les fosses fumières...

La simulation par GLEAM-*i* à base des paramètres zootechniques (**Tableau IX**) et de données de quelques associations de scénarios (**Annexe 7**) a donné les résultats dans le **Tableau XVI** ci-dessous. Leurs effets sur les émissions des GES sont résumés par les figures ci-après (**Figure 13**). En général, les associations de scénarios sont caractérisées par un plus grand accroissement des productions : de 2 à 10% pour la viande et de 15 à 35% pour les quantités de lait. Les effets sur les émissions sont également les plus grandes : à l'échelle du territoire, elles induisent des réductions des émissions des GES atteignant sur le territoire la barre de -1,5% par animal et de -2,3% par kg de PV avec S2+S3+S4. Elles sont encore meilleures quand on considère l'exploitation A (-5,4% par animal et -8,7% par kg de PV). Pour les émissions par kg de FPCM, les atténuations sont même au-delà de -20% par kg de FPCM, c'est le cas de S1+S2+S3 et de S1+S2+S3+S4. Les quantités produites sont en général plus élevées qu'en So sauf pour S2+S3+S4 où elles sont statistiquement semblables.



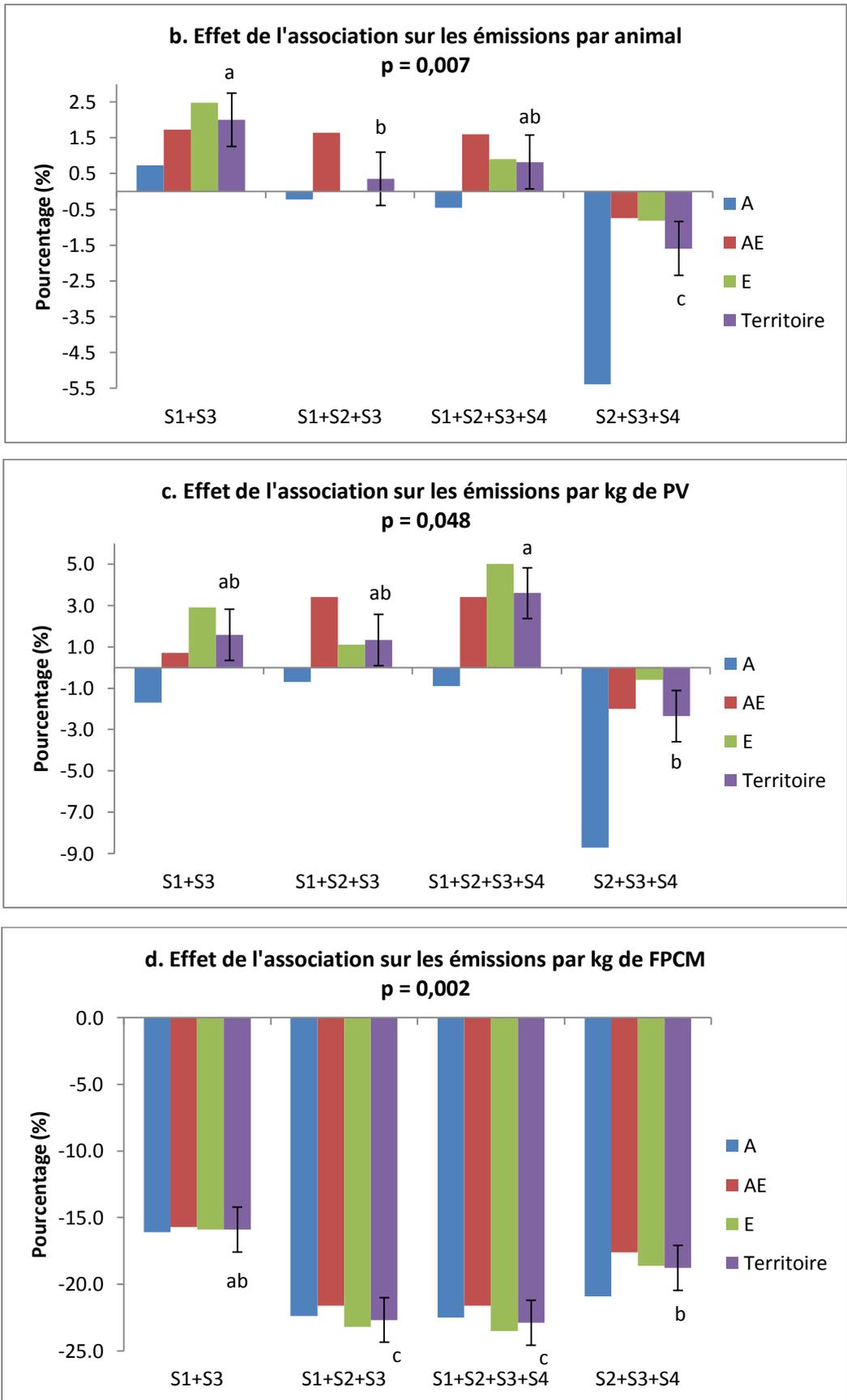


Figure 13. Effets de l'association de scénarios sur les émissions des GES

Tableau XVI. Résultats de la simulation de combinaisons de scénarios

Paramètres	Emission totale de GES (Mg CO2-eq)	Proportion des émissions par exploitation (%)	Effectif recalculé par GLEAM-i	Poids Vif (tonne)	Poids FPCM (tonne)	Emission par animal (Mg CO2-eq/animal/an)	kg CO2-eq/kg de protéine dans la carcasse	Emission par kg de PV (kg CO2-eq/kg de PV)	kg CO2-eq/kg de protéine dans le lait frais	Emission par unité de FPCM (kg CO2-eq/kg de FPCM)	
Situation de Référence So	A	17 023	10,5	9 869	278	634	1,72	335,8	38,6	321,1	10,14
	AE	37 703	23,4	22 408	682	1 540	1,68	330,6	38,0	308,5	9,74
	E	106 694	66,1	64 276	2 236	4 956	1,66	333,6	38,4	296,4	9,36
	Territoire	161 420	100	96 553	3 196	7 130	1,68	333,3	38,3	303,5	9,58
S1+S3	A	17 356	10,3	10 035	282	790	1,70	330,2	38,0	269,5	8,50
	AE	39 060	23,1	22 964	702	1 921	1,71	333	38,3	260,1	8,21
	E	112 655	66,6	65 291	2 336	6 185	1,70	343,4	39,5	249,1	7,86
	Territoire	169 071	100	98 290	3 320	8 896	1,71	338,7	39,0	255,2	8,06
S1+S2+S3	A	17 300	10,4	9 989	288	854	1,72	327,8	37,7	249,5	7,88
	AE	39 305	23,7	22 821	716	2 075	1,70	334,1	38,4	241,9	7,64
	E	109 578	65,9	66 224	2 410	6 681	1,67	341,8	39,3	225,2	7,11
	Territoire	166 183	100	99 034	3 414	9 610	1,68	337,6	38,8	233,4	7,37
S1+S2+S3+S4	A	17 377	10,3	10 070	290	854	1,70	332,9	38,3	248,9	7,90
	AE	39 779	23,5	23 079	726	2 075	1,71	341,8	39,3	241,7	7,63
	E	112 000	66,2	65 771	2 468	6 681	1,67	350,5	40,3	224,4	7,08
	Territoire	169 156	100	98 920	3 484	9 610	1,69	345,4	39,7	232,7	7,35
S2+S3+S4	A	16 303	10,0	10 120	282	790	1,60	306,6	35,3	254,2	8,0
	AE	38 114	23,3	23 271	702	1 921	1,67	324	37,3	254,2	8,02
	E	109 036	66,7	66 873	2 336	6 185	1,65	331,6	38,1	241,6	7,63
	Territoire	163 453	100	100 264	3 320	8 896	1,65	325,5	37,4	246,7	7,79

2.2.1.5. Contraintes relevées par les acteurs et solutions proposées

Les producteurs ont énuméré un certain nombre de contraintes à la mise en place de chacun des quatre scénarios retenus pour simulation et ont dégagé quelques des pistes de solutions pour venir à bout de ces difficultés.

2.2.1.5.1. La constitution de banques fourragères (S1)

La principale difficulté pour la constitution d'une banque fourragère est le manque de lieu de stockage. Les acteurs doivent constamment relever le double défi de stocker des quantités suffisantes et du fourrage à l'abri des intempéries (pluie, soleil, vent, feu, termites). Le hangar qu'ils ont l'habitude de faire ne peut prendre que des quantités limitées. En outre, stocké à même le sol, le fourrage est à la portée des termites, animaux, feu et autres. A cette contrainte s'ajoutent un problème d'accès à la terre pour la mise en place des cultures fourragères et un manque de semence de fourrage de bonne qualité.

L'une des difficultés majeures pour la mise en place du S1 est la période de coupe du fourrage. En effet, le bon moment de la récolte du fourrage de bonne qualité coïncide généralement avec une forte intensité des travaux champêtres (sarclage, binage, récolte). Les pluies à cette période rendent également difficile le séchage du fourrage récolté. C'est finalement un fourrage de qualité médiocre que la plupart des acteurs arrivent à stocker. Enfin, il ressort que de nouvelles techniques de productions agricoles telles que l'Agriculture de Conservation créent une compétition autour du fourrage pour leur mise en œuvre d'une part et pour l'alimentation des animaux d'autre part.

Comme solutions préconisées par les acteurs, des techniques de traitements permettent d'améliorer la qualité du fourrage grossier stocké et de faciliter sa digestibilité : broyage, hachage, traitement à l'urée, salage, séchage du fourrage à l'ombre, etc. Cultiver du fourrage (*mucuna, panicum, stylosanthès, dolique, brachiaria*) et en prendre soin au même titre que les cultures vivrières, est un moyen sûr d'avoir du fourrage de bonne qualité.

2.2.1.5.2. La complémentation avec les SPAI (S2)

S2 a été le meilleur scénario retenu par les acteurs. La première difficulté pour sa mise en place est une question de moyens financiers : il faut de l'argent pour acheter les SPAI qui sont souvent à des prix hors de portée pour les acteurs. Ensuite, un problème de disponibilité des produits se pose : les tourteaux, les drêches et farines industrielles sont souvent rares à la période de soudure alimentaire. Il existe aussi une compétition féroce entre acteurs pour l'acquisition des SPAI qui sont produits localement : le son de céréales, la drêche et la farine de néré. Par ailleurs, un problème de qualité des produits a été relevé : les SPAI à leur portée

sont souvent de mauvaise qualité (tourteau trop huileux ou mal conservés). Enfin, le choix même des SPAI pour les besoins spécifiques de l'animal (productions laitière, embouche) est un problème qui se pose aux acteurs.

Les acteurs proposent alors de faire assez tôt les stocks d'aliments quand les moyens le permettent, cela évite le manque criard en période de soudure et limite les spéculations des prix autour des SPAI. Ils s'encouragent par ailleurs à ne pas hésiter à vendre un animal pour faire des stocks d'aliments afin de nourrir les autres animaux. Enfin, la recherche personnelle de l'information, la formation et le partage des connaissances entre acteurs sur la complémentation peuvent aider à améliorer les productions animales.

2.2.1.5.3. Le parcage des animaux sous-hangars (S3)

Faire un hangar nécessite du bois, chose qui se raréfie en ce temps de sécheresse galopante et de lutte contre la coupe abusive du bois. Ce scénario peut s'améliorer par l'ajout d'une clôture mais cela demande un peu plus de moyens financiers. Comme autre contrainte, le parcage des animaux sous-hangars est incommode en saison des pluies : le cadre humide qu'il crée à cette période n'est pas favorable au bien-être des animaux. En plus, l'augmentation des matières humides peut être source de maladies et d'accroissement des émissions des GES. La plantation d'arbres est la solution retenue par les acteurs, car elle leur permet d'avoir du bois pour leurs multiples besoins tels que la construction du hangar.

2.2.1.5.4. L'Adoption des fosses fumières (S4)

Il faut des moyens financiers pour faire la fosse et pour construire le mur de renforcement des bordures. C'est un scénario qui demande aussi du travail supplémentaire permanent pour le remplissage de la fosse et les retournements. Comme solutions, la solidarité entre acteurs permet de limiter les frais pour la mise en place de ce scénario. Dans les zones où il est très difficile ou très coûteux de réaliser une fosse (zone rocailleuse), la construction d'une bassine en hauteur peut valablement remplacer la fosse et assurer un bon compostage.

2.2.2. Discussion

2.2.2.1. Sur la situation de référence

Pour la situation de référence, le premier constat sur cette modélisation avec GLEAM-*i* est la variabilité des résultats d'une exploitation à l'autre. Cela pourrait logiquement s'expliquer par la différence constatée au niveau des effectifs du troupeau, des pratiques d'alimentation et de la gestion du fumier. Par exemple les éleveurs (E) ayant le plus grand nombre d'effectif de bovins ont contribué pour une grosse part à la production de lait, de viande et d'émission sur l'ensemble du territoire.

En revanche, les bovins des agriculteurs (A) se sont révélés plus émetteurs de GES par unité de produits que ceux des autres exploitations. L'explication pourrait venir du mode d'alimentation du troupeau. En effet, les bovins des agriculteurs, constitués essentiellement de bœuf de trait (67%), ne bénéficient pas comme les autres de l'abondance du pâturage vert pendant la saison pluvieuse pour raison de travaux champêtres (32% du pâturage vert dans leur ration contre 52% pour AE et E). Le fourrage sec est très élevé dans leur ration (64%), ce qui a induit un taux de fermentation entérique très élevé comparé aux autres bovins.

Ensuite, les bovins du territoire agropastoral de Koumbia, tout comme ceux de l'Afrique de l'Ouest en général, émettent de grandes quantités de GES par unité de produit comparativement au reste du monde. L'intensité des émissions pour la situation de référence est de 38,3 kg de CO₂-eq/kg de PV et de 9,58 kg de CO₂-eq/kg de FPCM. Ces résultats concordent avec les données de la FAO (2010) et les études de Gerber *et al.* (2013) qui classent les émissions de l'Afrique subsaharienne dans l'ordre de 40 kg CO₂-eq/kg de PV (70 kg CO₂-eq/kg de poids carcasse) et de 9 kg CO₂-eq/kg de FPCM. Assouma *et al.* (2014), pour des études menées au Sénégal (Afrique de l'Ouest), ont trouvé des résultats du même ordre : soit 39,6 kg CO₂-eq/kg de poids vif et 8,9 kg CO₂-eq/kg de lait corrigé. En général, dans les élevages d'Afrique de l'Ouest, la fermentation entérique contribue à plus de 65% des émissions issues du bétail à cause du fourrage de faible qualité nutritive utilisé (Arthur et Baidoo, 2011 ; Opio *et al.*, 2013) et c'est le cas dans le territoire de Koumbia.

Enfin, les résultats de la situation de référence sont également de même ordre que ceux obtenus par la modélisation à base des données bibliographiques. La raison pourrait venir du fait qu'il n'y ait pas eu de grands changements dans les pratiques d'alimentation et de gestion des effluents dans le territoire depuis que les principaux travaux de recherche utilisés en référence ont été produits (2005-2015).

2.2.2.2. Sur les scénarios et les combinaisons

Les quantités des émissions de GES sur le territoire comme dans les exploitations ont connus une hausse par la mise en place des scénarios. Cela peut s'expliquer par l'accroissement de l'effectif du troupeau et l'augmentation des productions (lait et viande) que ces pratiques induisent. Mais quand on se situe au niveau des intensités d'émissions, le résultat varie et l'on observe parfois des atténuations comparativement à la situation de référence.

- **Banque de fourrage (S1)** : La constitution de banque fourragère a abouti, selon la simulation, à une hausse de l'intensité des émissions de GES par animal et par kg de poids vif. Il faut noter que, pour la mise en place de ce scénario, tous les acteurs (A, AE et E) ont augmenté considérablement la proportion de paille consommées, les concentrés restant à des taux faibles. Ce fait pourrait être à la base de cette hausse des émissions des GES. En effet, dans la ration des animaux, l'augmentation du fourrage grossier à faible valeur nutritive et qui ne reçoit aucun traitement d'amélioration (à l'urée, ensilage) ne fait qu'augmenter la fermentation entérique (Bougouma-Yaméogo, 1995). Avec un taux très élevé de fourrage sec et très méthanogène, l'accroissement des émissions aux niveaux des exploitations devient une évidence. En revanche ce scénario, qui augmente déjà les productions animales (Wade et Lecomte, 2016), a eu l'avantage de réduire l'intensité des émissions par kg de FPCM.

- **Complémentation avec les SPAI (S2)** : La complémentation à base de SPAI a donné un effet positif sur la réduction des émissions de GES par animal et par unité de produit. L'alimentation ordinaire des bovins dans le territoire est essentiellement basée sur le fourrage grossier. Ce scénario a l'avantage d'augmenter le taux de matière azotée dans la ration de 10% contre 3% pour So. Et comme l'a reconnu Sangaré (2002) dans ses recherches, l'apport d'aliment riche en azote soluble ou en protéine non soluble dans le rumen permet d'optimiser l'utilisation du fourrage grossier. L'apport des SPAI améliore la qualité de la ration des animaux et réduit les émissions. Les résultats du S2 indiquent d'ailleurs une diminution du méthane d'origine entérique par rapport à So et les meilleures atténuations des émissions par rapport aux autres scénarios.

- **Parcage sous le hangar (S3)** : Le parcage sous le hangar est un scénario sur la gestion des effluents, il permet selon la simulation, de réduire les émissions par unité de lait et de viande ; les émissions par animal sont semblables à la situation de référence. Cette pratique, en plus du confort qu'il procure aux animaux, facilite le stockage des effluents sous forme de tas solide, ce qui réduit énormément les émissions de N₂O (GIEC, 2007). Et quand le tas est couvert d'une bâche, la réduction des émissions peut atteindre 30 à 40% (Wade et Lecomte, 2016).

- **L'adoption des fosses fumières (S4)** : La fosse fumière tout comme le parcage sous le hangar, dispose le fumier sous forme de stockage solide en grande quantité (dans les fosses ou épandus dans les champs) ; l'émission de N₂O se trouve réduit.
- **L'association de scénarios** : La simulation de scénarios associés permet d'atteindre des réductions importantes ; c'est le cas, pour les productions laitières, du scénario qui associe la complémentation aux SPAI avec la gestion du fumier (S2+S3+S4). Les associations avec les banques fourragères (S1) donnent des résultats mitigés à l'échelle des territoires : seules les émissions par kg de FPCM sont réduites contrairement aux autres intensités. Cela pourrait s'expliquer par le fait que dans la situation de référence (So) un taux très élevé de fourrage (97%) est déjà utilisé pour l'alimentation des animaux. La réduction des émissions ne saurait venir d'un nouvel accroissement du taux du fourrage comme c'est le cas au S1 mais plutôt d'une baisse de celui-ci au profit des SPAI. L'augmentation des émissions constatée avec la mise en place de S1 se trouve atténuée ou inversée dès lors qu'on l'associe au S2 (S1+S2+S3 et S1+S2+S3+S4) et la meilleure association ici est celle n'incluant pas le scénario 1 (S2+S3+S4). Les associations confirment encore l'avantage à utiliser les SPAI dans la ration des bovins d'Afrique de l'Ouest.

2.2.2.3. Sur les limites liées à l'outil GLEAM-*i* et la démarche adoptée

Comme tout outil de modélisation, GLEAM-*i* qui est un puissant modèle d'évaluation des GES à l'échelle du territoire, présente aussi quelques limites. Cet outil de simulation, déjà très élaboré par rapport aux précédents, est en cours d'amélioration (Mottet, 2016). Mis au point par la FAO, GLEAM-*i* permet une modélisation basée sur des paramètres d'entrée assez précis qui ne cadrent pas toujours avec les connaissances des pratiques et le niveau de précisions sur le terrain. Dans le contexte particulier des systèmes agro-pastoraux d'Afrique de l'Ouest, plusieurs contraintes sont à relever pour son utilisation :

D'abord, il faut noter un problème de précisions des données entrantes pour la modélisation avec GLEAM-*i*. En effet, les enquêtes sont réalisées auprès de producteurs, en majorité analphabètes, qui ne disposent pas de fiches de suivi de leur troupeau et de leurs activités. Les données récoltées sur l'effectif du troupeau, l'alimentation et la gestion du fumier sont donc basées sur la mémoire de l'éleveur ou du berger. Le biais que cette situation pourrait créer au niveau des variables d'entrée pourrait aussi influencer l'estimation des GES.

Ensuite, sur le troupeau en particulier, GLEAM-*i* ne propose que deux données d'entrées à savoir le nombre de vaches reproductrices et celui de taureaux reproducteurs. L'effectif final

sur lequel se base l'estimation des GES, est alors recalculé automatiquement en fonction des paramètres zootechniques sans distinction des spécificités de certains animaux. C'est le cas des bovins transhumants dont la présence sur le territoire est périodique et celui des bœufs de trait qui sont avant tout des animaux de labour et qui n'entrent pas forcément dans la reproduction, puisque la plupart d'entre eux sont castrés. GLEAM-*i* gagnerait à intégrer ces particularités pour plus de fiabilité des résultats obtenus.

Sur l'alimentation également, l'outil GLEAM-*i* dans sa version actuelle, tient compte uniquement de la proportion des éléments de la ration et non des quantités. La simulation se fait sur la base de quantités ingérées suffisantes, soit 6,25 kg de MS/UBT/jour pour les élevages d'Afrique de l'Ouest (FAO, 2016b). Cela ne cadre pas toujours avec la réalité sur le terrain car, comme l'indique Philippe LECOMTE, la digestibilité du fourrage varie en fonction des saisons et les quantités ingérées par les animaux en Afrique subsaharienne sont souvent insuffisantes surtout en période de saison sèche chaude (Lecomte *et al.*, 2016).

Par ailleurs, sur la gestion du fumier, l'outil ne présente que huit paramètres d'entrée. Mais sur le terrain, il y a des pratiques rencontrées autres que ces huit. Cela amène à toujours rechercher des correspondances afin de réaliser l'évaluation pour ces situations ; ce qui peut biaiser les résultats. C'est le cas des fosses compostières, des fosses fumières, du parcage sous hangar et du parcage direct dans le champ. En plus de cela, GLEAM-*i* ne fournit pas d'estimation de la production de fumier qui est, dans le contexte des exploitations agropastorales africaines, un produit attendu des troupeaux pour la fertilisation des sols et autres usages (Vigne, 2012).

A propos des productions animales, GLEAM-*i* à l'étape actuelle, ne présente pas l'effet des scénarios sur les quantités des produits (lait, viande). Il implique de toujours fixer des valeurs pour percevoir des variations quantitatives des productions dues à l'alimentation ou à la gestion des effluents ; ce qui n'est pas toujours évident. Les résultats des intensités d'émissions sont actuellement exprimés en quantité de CO₂-eq par kg de protéine (dans la viande ou le lait) ; il serait judicieux de les avoir aussi en kg de CO₂-eq par kg de produit (lait ou viande). En attendant cela, la liste des paramètres zootechniques pourrait être complétée par l'ajout du taux de protéine dans la viande car il s'agit d'une donnée attendue pour la conversion (calcul) des intensités d'émission en kg de CO₂-eq/kg de viande.

Enfin, il serait intéressant que les figures (diagrammes, secteurs) issues de la simulation avec GLEAM-*i* soient directement exploitables : à l'étape actuelle, il est impossible de les copier pour exploitation dans un autre document. Cela éviterait de repartir sur les données numériques pour reconstruire les mêmes figures déjà présentées par la simulation.

Fort heureusement, GLEAM-*i* est un outil dont la robustesse a été testée à plusieurs reprises et validée (Gerber *et al.*, 2013 ; FAO, 2016b) et qui permet malgré ces handicaps, d’obtenir des résultats scientifiquement fiables. De plus, la valeur d’un outil se reconnaît dans son utilité. En attendant d’être davantage amélioré, GLEAM-*i* qui a déjà fait ses preuves, demeure un outil de travail qui répond bien à un besoin actuel : celui de trouver les voies et moyens pour atténuer les GES dus aux systèmes d’élevage dans notre monde en proie au changement climatique.

CONCLUSION

Les résultats obtenus nous ont convaincus de la possibilité d'atténuer les émissions des GES dues aux systèmes d'élevage par des pratiques améliorées sur l'alimentation et par la bonne gestion des effluents. Il est clair que l'amélioration de l'alimentation des bovins par une complémentation aux SPAI tout comme le parcage sous hangar et l'adoption des fosses fumières sont autant de moyens d'atténuation des émissions par unité de produit dans les territoires agro-pastoraux comme celui de Koumbia. En plus de cela, la combinaison de scénarios utilisant une meilleure alimentation et une bonne gestion du fumier s'est révélée plus efficace en matière de réduction des émissions des GES. L'apport des SPAI dans l'alimentation du bétail se dégage de cette étude comme la principale clé d'amélioration des productions animales et d'atténuation conséquente des émissions des GES dans les territoires agro-pastoraux d'Afrique de l'Ouest.

Les quatre (04) scénarios retenus par les acteurs pour la simulation sont des pratiques d'amélioration des productions animales bien connues et, nombreuses sont les exploitations qui tirent déjà profit de leur mise en place dans le territoire. C'est donc une voie toute tracée pour les pays d'Afrique de l'Ouest de participer efficacement à la lutte contre le changement climatique tout en maintenant le cap de l'accroissement des productions animales pour satisfaire les besoins de plus en plus croissants de nos populations en produits animaux (lait, viande). Il reste donc à accompagner les acteurs afin qu'ils améliorent davantage leurs pratiques pour des résultats plus consistants en matière d'atténuation des émissions des GES par le secteur d'élevage et plus compétitifs en matière de productions animales.

Le modèle GLEAM-*i* utilisé et qui est déjà efficace dans l'évaluation des GES, pourrait encore être perfectionné. La prise en compte des réalités des systèmes d'élevage agro-pastoraux ouest-africains pourrait être une piste d'amélioration de cet outil. Il serait par exemple plus judicieux de détailler davantage les variables d'entrée du troupeau afin de prendre en compte les particularités de certains animaux comme les bovins transhumants et les animaux multifonctionnels tels les bœufs de trait. En plus des différents éléments de la ration, GLEAM-*i* pourrait intégrer aussi les quantités ingérées par les animaux et tenir compte également d'autres modes de gestion des effluents (IPCC, 2006). L'ajout de paramètres de sortie tels que les quantités de fumier produit et l'effet des scénarios sur les quantités des produits (lait, viande) donnerait un aperçu immédiat de gain en termes de production que l'on aurait suite à la mise en place d'une pratique donnée.

L'amélioration de l'outil, implique un énorme travail de recherche en amont pour disposer de données plus complètes et fiables sur les pratiques et les performances des élevages agropastoraux en vue d'une meilleure exploitation des potentialités de l'outil GLEAM-*i* (effectifs des animaux, paramètres zootechniques, diversité des modes de conduite des animaux, ingestion, qualité des rations, etc.).

Pour réaliser les évaluations avec GLEAM-*i*, le présent travail s'est essentiellement basé sur les informations recueillies auprès des acteurs et dans la bibliographie. Il serait intéressant de compléter ces informations avec des résultats issus d'un dispositif expérimental en milieu contrôlé (une étable ou une zone de pâture bien délimitée). Cela permettrait de disposer de plus de précisions sur les différentes rations des animaux et sur la destinée des effluents. Traiter de GES provenant des bovins, c'est aborder des questions de nutrition et de digestion animale. Des travaux ultérieurs pourraient donc approfondir ces questions dans le but d'une recherche des meilleures techniques d'atténuation des émissions des GES.

Il n'y avait pas que les bovins comme animaux dans le territoire et l'outil GLEAM-*i* offre la possibilité d'analyser les émissions de GES de cinq (05) autres espèces d'animaux. Des études sur les petits ruminants, les porcins et la volaille pourraient compléter celle réalisée sur les bovins afin d'avoir une idée de l'ensemble des émissions provenant de nos élevages et d'initier des scénarios efficaces pour l'atténuation de celles-ci.

L'atténuation des GES dans le secteur de l'élevage est une question si importante qu'elle mérite d'être davantage approfondie au-delà du temps imparti pour notre stage. D'autres indicateurs sont à prendre en compte pour appréhender l'impact global de l'élevage sur l'environnement (Mottet, 2016) : la santé des animaux, la question d'abreuvement (quantité et qualité), la biodiversité, les cycles de l'azote, la dégradation des sols, etc. D'immenses chantiers restent donc ouverts afin de faire participer nos populations à la lutte mondiale contre le changement climatique dont elles ressentent déjà les conséquences. Les politiques ont un rôle capital à jouer dans cette noble mission à travers des choix judicieux pour appuyer les acteurs dans la mise en place de solutions adaptées pour satisfaire les besoins d'aujourd'hui tout en garantissant ceux des générations futures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A. BIBLIOGRAPHIE

ADEME (2014), *Base Carbone : Documentation des facteurs d'émissions de la base carbone*, éd. ADEME, Paris, 279 p.

ALLO M. (2014), *Production de Biomasse et élevage à l'échelle territoriale : Application de l'approche du métabolisme territoriale aux territoires de Koumbia (Burkina Faso)*. Rapport de césure, ENSSA, Bordeaux Aquitaine, 52 p.

ARTHUR R. & BAIDOO M. F. (2011), "Harnessing methane generated from livestock manure in Ghana, Nigeria, Mali and Burkina Faso", in *Biomass and bioenergy*, n°35, pp 4648-4656.

ASSOUMA M. H. VAYSSIERES J., BERNOUX M., HIERNAUX P. & LECOMTE P. (2014), "Bilans gaz à effet de serre d'un écosystème sylvo-pastoral tropical dans la zone semi-aride du Sénégal" in *Rencontre Recherche Ruminants*, n°21, pp 35-38.

BAZIMO G. H. (2016), *Diagnostic des pertes et gaspillages et qualité du lait dans les filières laitières au Burkina Faso: cas de la zone périurbaine de Bobo-Dioulasso et des laiteries en zone rurale*, Mémoire de Master en Produits d'origine animale, EISMV, Dakar, 31 p.

BENAGABOU O. I. (2011), *Contribution de l'association agriculture-élevage dans l'amélioration du bilan du flux énergétique dans les systèmes agropastoraux : cas de Koumbia*, Mémoire de fin de cycle d'ingénieur, IDR, Bobo-Dioulasso, 59 p.

BLANCHARD M. (2005), *Relations agriculture élevage en zone cotonnière : territoire de Koumbia et Waly, Burkina Faso*, Université de Paris XII, 62 p.

BLANCHARD M. (2015), *Cycle de C & N : Cas des systèmes pastoraux et agropastoraux en Afrique de l'Ouest*, Projet Animal change, ISRA-INRA, Dakar, 9 p.

BLANCHARD M., KOUTOU M., VALL E. & BOGNINI S. (2011), "Comment évaluer un processus innovant ? Cas de l'amélioration quantitative et qualitative de la fumure organique au champ", in *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, n° 64 (1-4), pp 1-12.

BLEIN R., SOULE B. G., DUPAIGRE B. F. & YERIMA B. (2008), *Potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO)*, rapport de la Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde (FARM), 116 p.

BOUGOUMA-YAMEOGO V. (1995), *Valorisation des fourrages naturels récoltés au Burkina Faso (Zones sahélienne et Nord-soudanienne) : Traitement à l'urée de la biomasse. Utilisation par les ruminants*, Thèse de Doctorat, ENSAM, Montpellier, 134 p.

BOUWMAN A. F. (1997), "Long-term scenarios of livestock crop-land use interactions in developing countries", col. *FAO land and water bulletin*, n°6, Rome, 144 p.

CHOUINARD Y. (2002), *Production et émission du méthane et du gaz carbonique par les ruminants*, 65^{ème} congrès de l'Ordre des agronomes du Québec, 10 p.

CLOS J. (2012), *Les fonctions de nutrition chez les animaux*, éd. Ellipses, Paris, 604 p.

CORNIAUX C., ALARY V., GAUTIER D. & DUTEURTRE G. (2012), "Producteur laitier en Afrique de l'Ouest : une modernité rêvée par les techniciens à l'épreuve du terrain", in *Autrepart*, 2012/3, n°62, pp 17-36.

DELMA B. J., BOUGOUMA-YAMEOGO V., NACRO B. & VALL E. (2016), "Fragilité des projets d'élevage familiaux dans les exploitations de polyculture-élevage au Burkina Faso", in *Cahiers Agricultures*, n°25, 8 p.

DEMEYER D. & FIEVEZ V. (2000), "Ruminants et environnement : la méthanogène", in *Annuaire de Zootechnique*, n°49, pp 95-112.

DESSUS B. & LAPONCHE B. (2008), *Réduire le méthane : l'autre défi du changement climatique*, AFD, Document de travail n°68, août, Paris, 57 p.

DEVUN J., BRUNSCHWIG P. & GUINOT C. (2012), *Alimentation des bovins : Rations moyennes et autonomie alimentaire*, éd. Institut de l'Élevage, Paris, 44 p.

DIALLO M. A. (2006), *Savoirs locaux et pratiques de conduites des troupeaux au pâturage : Elaboration d'une Méthode d'étude*, Mémoire de DEA, IDR, Bobo-Dioulasso, 73p

DOLLE J-B., AGABRIEL J., PEYRAUD J. L., FAVERDIN P., MANNEVILLE V., RAISON C., GAC A. & LE GALL A. (2011), "Les gaz à effet de serre en élevage bovin : évaluation et leviers d'action", in *INRA Productions animales*, n°5, pp 415-432.

DOREAU M., BENHISSIA H., THIOR Y. E., BOIS B., LEYDET C., GENESTOUX L., LECOMTE P., MORGAVI D. P. & ICKOWICZ A. (2016) "Methanogenic potential of forages consumed throughout the year by cattle a Sahelian pastoral area" in *Animal Production Science*, n°56, pp 613-618.

ESPAGNOL S. & LETERME P. (2010), *Elevage et environnement*, éd. Quae, Paris, 258p.

ETIENNE M. (2010), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, éd. Quae, Paris, 384 p.

EXBALIN J. (2014), *Le réchauffement climatique et ses impacts: Tome 1. Le réchauffement climatique global*, éd. L'Harmattan, Paris, 290 p.

FALVEY L. & CHANTALAKHANA C. (1999), *Smallholder Dairying in Tropics*, éd. ILRI, Nairobi, 462 p.

FAO (2012), *La transhumance transfrontalière en Afrique de l'Ouest. Proposition de plan d'action*, éd. FAO, Rome, 146 p.

FAO (2013), *FAO Statistical Yearbook 2013 : World food and agriculture*, éd. FAO, Rome, 289 p.

FAO (2016a), *Food and Agriculture: Key to achieving the 2030 Agenda for Sustainable Development*, éd. FAO, Rome, 31 p.

FAO (2016b), *Global Livestock Environmental Assessment Model-interactive tool: User Guide*, éd. FAO, Rome, 27 p.

FAYE B. & ALARY V. (2001), "Les enjeux des productions animales dans les pays du Sud", in *INRA Productions animales*, n°14, pp 3-13.

GERBER P. J., STEINFELD H., HENDERSON B., MOTTET A., DIJKMAN J., FALCUCCI A. & TEMPIO G. (2013), *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emission and mitigation opportunities*, FAO, Rome, 138 p.

GIEC (2007), *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, éd. GIEC, Genève, 103 p.

HERRERO M., THORNTON P. K., NOTENBAERT A. M., WOOD S., MSANGI S., A. FREEMAN H., BOSSIO D., DIXON J., PETERS M., VAN DE STEEG J., LYNAM J., PARTHASARATHY RAO P., MACMILLAN S., GERARD B., MCDERMOTT J., SERÉ C. & ROSEGRANT M. (2010), "Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems", in *Science*, n°327, pp 822-824.

HONG A. C., YOUNG C. J., HURLEY M. D., WALLINGTON T. J. & MABURY S. A. (2013), "Perfluorotributylamine: A novel long-lived greenhouse gas", in *Geophysical Research Letters*, vol. 40, pp 6010-6015.

HRISTOV A. N., OH J., LEE C., MEINEN R., MONTES F., OTT T., FIRKINS J., ROTZ A., DELL C., ADESOGAN A., YANG W., TRICARICO J., KEBREAB E., WAGHORN G., DIJKSTRA J. & OOSTING S. (2013), "Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production", coll. *FAO Animal production and health*, n°177, éd. FAO, Rome, 225 p.

INDC (2015), *Contribution prévue déterminée au niveau national (CPDN) au Burkina Faso*, éd. INDC, Ouagadougou, 50 p.

IPCC (2006), *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management*, IPCC, Cambridge, 87 p.

IPCC (2013), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution working Group I to the fifth Assessment Report of the intergovernmental Panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC (2015), *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1435 p.

JACQUES G. & LE TREUT H. (2004), *Le changement climatique*, éd. UNESCO, Paris, 160 p.

JARRIGE R., RUCKEBUSCH Y., DEMARQUILLY C., FRANCE M. H. & JOURNET M. (1995), *Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion*, éd. INRA, Paris, 921p.

KAGONE H. (2001), *Le profil fourrager : Burkina*, éd. FAO, Rome, 23 p

LECOMTE P., DECRUYENAERE V., EUGENE M., BOIS B., NDAO S. & ICKOWICZ A. (2016), *F-NIRS approach of the seasonal profile of CH₄ emission of dairy herds in a agro sylvo pastoral-ecosystem of sub-Saharan Africa (Kolda, Senegal)*. 6th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference (GGAA 2016), from 14 to 18 February 2016, to be held in Melbourne, Australia (Oral Communication).

LHOSTE P. & RICHARD D. (1993), *Contribution de l'élevage à la gestion de la fertilité à l'échelle du terroir*, éd. CIRAD-EMVT, Montpellier, 25 p.

LHOSTE P., HAVARD M. & VALL E. (2010), *La traction animale*, éd. Quæ, ETA, Presses agronomiques de Gembloux, Paris, 223 p.

MAE (2009), *Mémento de l'agronome*, éd. CIRAD, Paris, 1692 p.

MARNIESSE S. & FILIPIAK E. (2003), *Lutte contre l'effet de serre : enjeux et débats*, éd. Magellan et Cie, Paris, 127 p.

MARTIN C., MORGAVI D., DOREAU M. & JOUANY J.P. (2006), " Comment réduire la production de méthane chez les ruminants", in *Fourrages*, n°187, pp 283-300.

MOTTET A., HENDERSON B., OPIO C., FALCUCCI A., TEMPIO G., SILVERSTRI S., CHESTERMAN S. & GERBER P. (2016), *Climate change mitigation and productivity gains in livestock supply chains: insights from regional case studies*, éd. FAO, Rome, 13 p.

MRA (2010), *Politique Nationale de Développement Durable de l'Elevage au Burkina Faso, 2010-2025*, MRA, Ouagadougou, 45 p.

MRA (2015), *Annuaire des statistiques de l'élevage*, MRA, Ouagadougou, 177 p.

NATURE QUEBEC, LA COOP FEDEREE & LA FEDERATION DES PRODUCTEURS DE PORCS DU QUEBEC (2011), *Stratégies de réduction des gaz à effet de serre pour le secteur de la production laitière au Québec. Guide d'information et d'accompagnement du calculateur de gaz à effet de serre en secteur laitier*. Réalisé dans le cadre du projet « Outil d'aide à la décision : exploitation laitière et GES ». éd. Nature Québec, Québec, 42 p.

OCDE & FAO (2015), *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2015-2024*, éd. OCDE, Paris, 157 p.

OPIO C., GERBER P., MOTTET A., FALCUCCI A., TEMPIO G., MACLEOD M., VELLINGA T., HENDERSON B. & STEINFELD H. (2013), *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains - A global life cycle assessment*. FAO, Rome, 191 p.

OSMAN-ELASHA B. (2009), "Impacts des changements climatiques, adaptation et liens avec le développement durable en Afrique", in *Unasylya*, n°231/232, vol. 60, pp 12-16.

PETIT M. (2013), *Le changement climatique dû aux activités humaines*, éd. Institut de France Sciences des Académies, Paris, 15 p.

PEYRAUD J-L., CELLIER P., DONNARS C., VERTES F., AARTS F., BELINE F., BOCKSTALLER C., BOURBLANC M., DELABY L., DOURMAD J. Y., DUPRAZ P., DURAND P., FAVERDIN P., FIORELLEI J. L., GAIGNE C., GIRARD A., GUILLAUME F., KUIKMAN P., LANGLAIS A., LE COFFE P., LE PERCHEC S., LESCOAT P., MORVAN T., NICOURT C., PARNAUDEAU V., RECHAUCHERE O. & ROCHETTE P. (2014), *Réduire les pertes d'azote dans l'élevage*, éd. Quae, Paris, 168p.

POWEL J. M. (2014), "Feed and manure use in low-N-input and high-N-input dairy cattle production systems" in *Environmental Research Letters* n°9, 8 p.

SANGARE M. (2002), *Optimisation de l'utilisation des ressources alimentaires disponibles pour l'alimentation du bétail et du recyclage des éléments nutritifs au Sahel*, Thèse de Doctorat (Ph D), Institut de Médecine Tropicale Prince Léopold, Antwerpen, Belgique, 202 p.

SEGUIN B. & SOUSSANA J. F. (2008), "Emissions des gaz à effet de serre et changement climatique : causes et conséquences observées pour l'agriculture et l'élevage", in *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°55, pp 79-91.

SERE C. & STEINFELD H. (1996), "World livestock production systems. Current status issues and trends", in *FAO animal production and health*, n°127, Rome, 82 p.

SLINGERLAND M. (2000), *Mixed farming: scope and constraints in West African savanna*, PhD Thesis, Wageningen University, 283 p.

SOUSSANA J. F. (2013), *S'adapter au changement climatique : Agriculture, écosystèmes et territoires*, éd. Quae, Paris, 282 p.

STEINFELD H., GERBER P., WASSENAAR T., CASTEL V., ROSALES M. & DE HAAN C. (2006), *Livestock's long shadow - Environmental issues and options*, éd. FAO, Rome, 390 p.

TINGUERI L. B. (2015), *Comprendre et caractériser les pratiques hors-normes de gestion de la fumure organique du Burkina Faso : Evaluer la durabilité des systèmes de production les mettant en œuvre*, Mémoire de DEA, IDR, Bobo-Dioulasso, 85 p.

VALL E. & DIALLO M. A. (2009), "Savoirs techniques locaux et pratiques : la conduite des troupeaux aux pâturages (Ouest du Burkina Faso)" in *Natures Sciences Sociétés*, n°17, pp 122-135.

VALL E., CHIA E., BLANCHARD M., KOUTOU M., COULIBALY K. & ANDRIEU N. (2016), "La co-conception en partenariat de systèmes agricoles innovants", in *Cahiers Agricultures*, n°25, 7 p.

VALL E., KOUTOU M., BLANCHARD M., COULIBALY K., DIALLO M. A. & ANDRIEU N. (2012), "Intégration agriculture-élevage et intensification écologique dans les systèmes agro-sylvo-pastoraux de l'Ouest du Burkina Faso" in *Recueil des Communications*, Comité Scientifique du DP ASAP, janvier 2012, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 46 p.

VERMOREL M., JOUANY J.P., EUGENE M., SAUVANT D., NOBLET J. & DOURMAD J.Y. (2008), "Évaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France", in *INRA Productions Animales*, n°21, pp 403-418.

VIGNE M. (2012), *Flux d'énergie au sein de systèmes d'élevage laitier contrastés : Elaboration d'indicateurs et analyse de la diversité inter et intra-territoire*, Thèse de Doctorat, Agro-Campus Ouest, Bretagne, 271 p.

WADE C. & LECOMTE P. (2016), *Technologies and interventions for improving productivity and reduce emission intensities in West Africa*, Report FAO-CCAC-Global Research Alliance, Dakar, 50 p.

B. WEBOGRAPHIE

ASSOUMA M. A., SERÇA D., GUÉRIN F., BLANFORT V., LECOMTE P., TOURÉ I., ICKOWICZ A., MANLAY R. J., BERNOUX M. & VAYSSIÈRES J. (2017), "Livestock induces strong spatial heterogeneity of soil CO₂, N₂O, CH₄ emissions within a semi-arid sylvo-pastoral landscape in West Africa", in *Journal of Arid Land*, tiré de <http://dx.doi.org/10.1007/s40333-017-0001-y>, consulté le 03.03.2017.

DEBRAY V., DERKIMBA A. & ROESCH K. (2008), *Des innovations agro-écologiques dans un contexte climatique changeant en Afrique*, Etude de "Coordination SUD", tiré de www.coordinationsud.org, consulté le 25.09.2016.

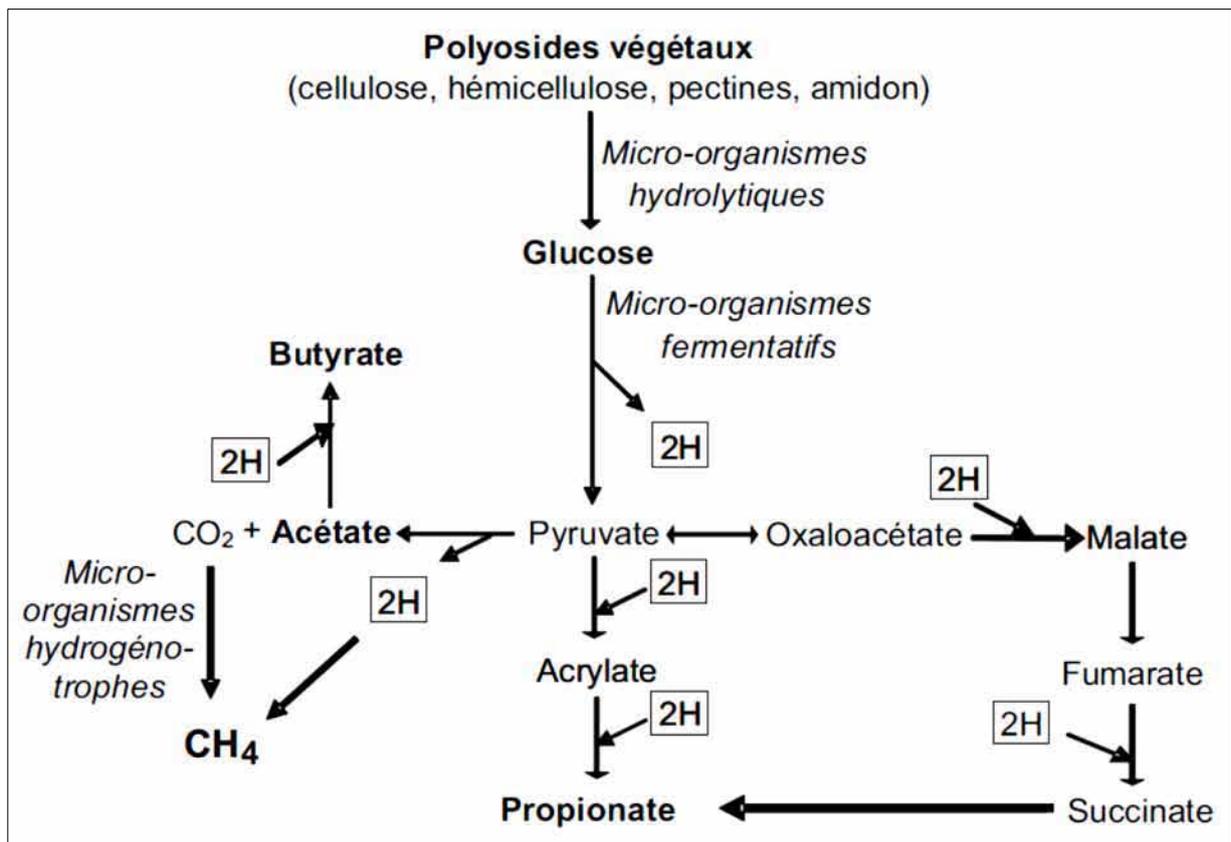
ENVIRONNEMENT CANADA (2005), *Les changements climatiques : manipuler le thermostat de la Terre*, tiré de www.ec.gc.ca, consulté le 05.09.2016.

MDDEP (2011), *Rapport annuel de gestion 2010-2011*, tiré de http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/ministere/rapports_annuels/rapport2010-2011.pdf, consulté le 02.01.2017.

PNDES (2016), *Plan Nation de Développement Economique et Social (PNDES) 2016-2020*, Burkina Faso, 88 p. tiré de <http://presimetre.bf/document/PNDES.pdf>, consulté le 17.09.2016

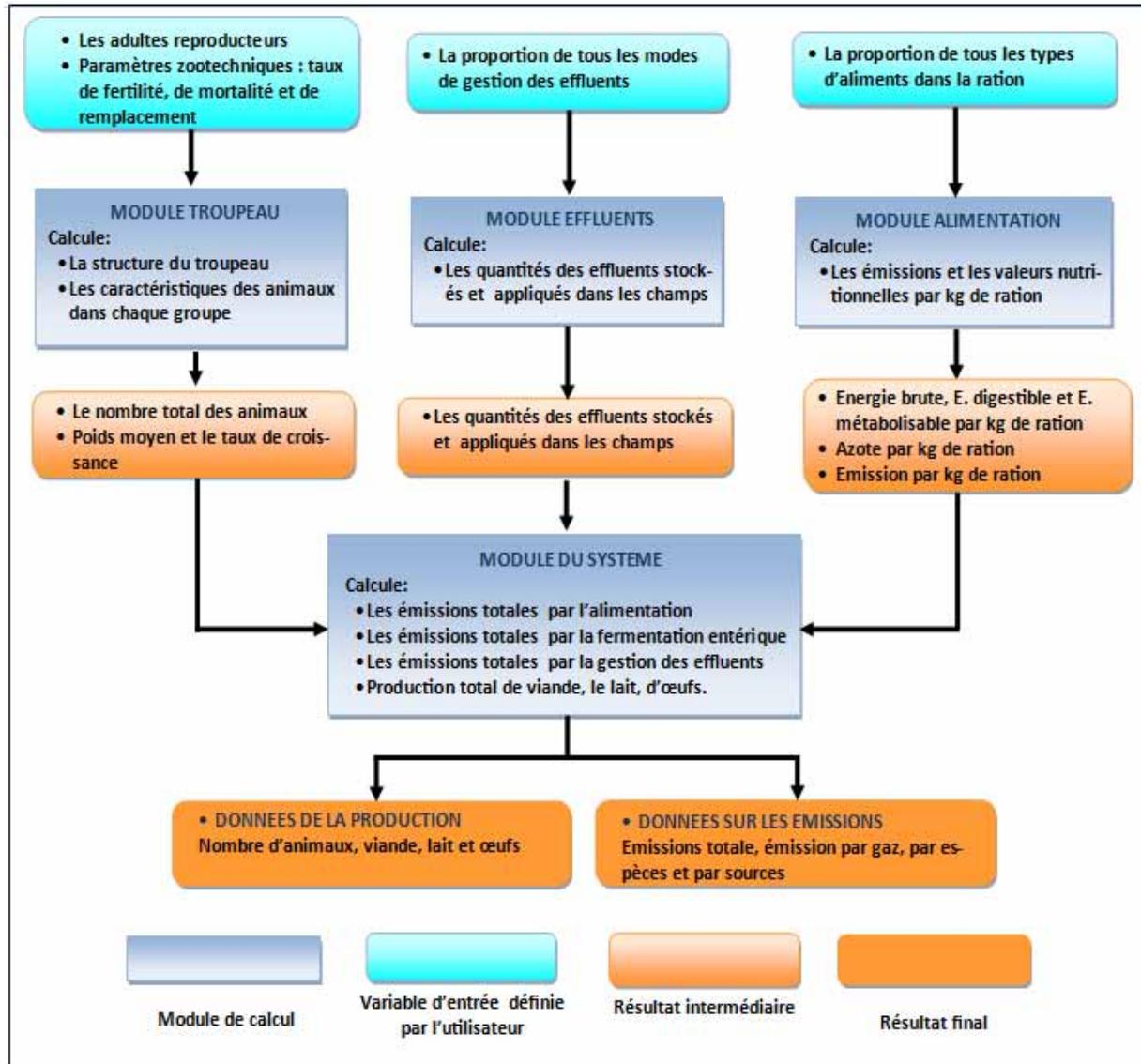
ANNEXES

Annexe 1 : Processus de fermentation entérique



(Source : Martin *et al.*, 2006)

Annexe 2 : Schémas représentatif du fonctionnement de GLEAM-i



(D'après FAO, 2016 b)

**Annexe 3 : Méthode de calcul de l'effectif total
(FAO, 2016 b)**

EFFECTIF TOTAL RECALCULE = AF + RF + AM + RM + MM

2.2.2.1 – Dairy herd - Female section

$$\begin{aligned}
 AF &= DCR * NCOWS2^a \\
 AFin &= AF * (RRF / 100) \\
 AFx &= AF * (DR2 / 100) \\
 AFexit &= AF * (RRF / 100) - AFx \\
 CFin &= AF * ((1 - (DR2 / 100)) * (FR / 100) + (RRF / 100)) * 0.5 * (1 - (DR1 / 100)) \\
 CMin &= AF * ((1 - (DR2 / 100)) * (FR / 100) + (RRF / 100)) * 0.5 * (1 - (DR1M / 100)) \\
 RFin &= ((AF * (RRF / 100)) / FRRF) / (1 - (DR2 / 100))^{AFC} \\
 RFexit &= ((AF * (RRF / 100)) / FRRF) - AFin \\
 RFx &= RFin - (AFin + RFexit) \\
 RF &= (RFin + AFin) / 2 * AFC \\
 MFin &= CFin - RFin \\
 MFexit &= MFin * (1 - (DR2 / 100))^{AFC} * (MFSkg - Ckg) / (AFkg - Ckg) \\
 MFx &= MFin - MFexit \\
 MF &= (MFin + MFexit) / 2 * (AFC * (MFSkg - Ckg) / (AFkg - Ckg)) \\
 \text{Unit: heads}\cdot\text{year}^{-1}
 \end{aligned}$$

2.2.2.2 – Dairy herd - Male section

$$\begin{aligned}
 AM &= AF * MFR \\
 AMx &= AM * (DR2 / 100) \\
 AMexit &= AM / AFC - AMx \\
 AMin &= AM / AFC \\
 RMin &= AMin / (1 - (DR2 / 100))^{AFC} \\
 RMx &= RMin - AMin \\
 RM &= (RMin + AMin) / 2 * AFC \\
 MMin &= CMin - RMin \\
 MMexit &= MMin * (1 - (DR2 / 100))^{AFC} * (MMSkg - Ckg) / (AMkg - Ckg) \\
 MMx &= MMin - MMexit \\
 MM &= (MMin + MMexit) / 2 * (AFC * (MMSkg - Ckg) / (AMkg - Ckg)) \\
 DCATTLE^b &= AF + RF + MF + AM + RM + MM \\
 \text{Unit: heads}\cdot\text{year}^{-1}
 \end{aligned}$$

^a Use NCOWS2 or NBUFF2 accordingly to the species.

^b Use DCATTLE or DBUFFALO accordingly to the species.

TABLE 2.1. Cattle and buffaloes input data and parameters

Variable	Name and description	Unit
AFC	Age at first calving	year
AFkg	Live weight of adult cows	kg
AMkg	Live weight of adult bull	kg
Ckg	Live weight of calves at birth	kg
DCR	Dairy cow ratio	dimensionless
DR1	Death rate female calves	percentage
DR1M	Death rate male calves	percentage
DR2	Death rate other animals than calves	percentage
FR	Fertility rate of adult female animals	percentage
FRRF	Fertility rate of replacement female animals. Note: standard value is 0.95	dimensionless
MFR	Bull to cow ratio	dimensionless
MFSkg	Live weight of female fattening animals at slaughter	kg
MMSkg	Live weight of male fattening animals at slaughter	kg
NBUFF2	Total number of buffaloes per grid cell	animal
NCOWS2	Total number of cattle per grid cell	animal
RRF	Replacement adult cows	percentage

TABLE 2.2. Cattle and buffaloes output variables

Variable	Name and description	Unit
OUTPUT - Animal numbers		
CF	Female calves	animal-year ⁻¹
CM	Male calves	animal-year ⁻¹
AF	Adult females, producing milk and calves	animal-year ⁻¹
RF	Replacement females, producing calves to replace adult females	animal-year ⁻¹
MF	Meat females, surplus animals fattened for meat production	animal-year ⁻¹
AM	Adult males, used for reproduction and draught power	animal-year ⁻¹
RM	Replacement males, to replace culled and dead adult males	animal-year ⁻¹
MM	Meat males, surplus animals fattened for meat production	animal-year ⁻¹
DCATTLE	Total animal numbers in the cattle dairy herd	animal-year ⁻¹
DBUFFALO	Total animal numbers in the buffalo dairy herd	animal-year ⁻¹
...exit	Number of sold animals from a given cohort	animal numbers
...in	Number of animals entering a given cohort	animal numbers
...kg	Live weight of a given cohort's animal	animal numbers
...x	Number of death animals in a given cohort	kilogram
OUTPUT - Growth rates		
DWGF	Annual average growth rate of female animals from calf to adult weight	kg·animal ⁻¹ ·day ⁻¹
DWGM	Annual average growth rate of male animals from calf to adult weight	kg·animal ⁻¹ ·day ⁻¹

Annexe 4 : Définition de quelques concepts

a) Pouvoir de réchauffement global (PRG) et CO₂-équivalent (CO₂-eq)

Les différents GES n'ont pas le même pouvoir de réchauffement dans l'atmosphère. Par exemple, pour une même quantité, le CH₄ réchauffe 28 fois plus l'atmosphère que le CO₂ et le N₂O réchauffe 265 fois plus l'atmosphère que le CO₂. Pour une meilleure estimation des émissions et du réchauffement climatique dans le monde, l'unité de mesure retenue est le **CO₂-équivalent (CO₂-eq)**. On dit alors que 1 kg de CH₄ = 28 kg de CO₂-eq et 1 kg de N₂O = 265 kg de CO₂-eq ; l'unité de base étant le PRG du CO₂ (1kg de CO₂ = 1 kg de CO₂-eq).

Le tableau ci-dessous donne les PRG de quelques GES à l'échelle de 100 ans :

1 kg du GES		kg de CO ₂ -eq
CO ₂	Dioxyde de carbone	1
CH ₃ Br	Méthyl Bromide	15
CH ₄	Méthane	28
CH ₃ CCl ₃	Méthyl chloroform	193
N ₂ O	Oxyde nitreux	265
CHClF ₂	Chlorodifluorométhane	1 810
CCl ₄	Carbone tetrachloride	2019
CBrF ₃	Halon-1301	7154
CF ₄	Tétrafluorométhane	7 390
CCl ₂ F ₂	Dichlorofluorométhane	10 900
NF ₃	Trifluorure d'azote	17 885
SF ₆	Hexafluorure de soufre	22 800

(Sources : IPCC, 2013 ; Gerber *et al.*, 2013 ; ADEME, 2014)

b) La pollution atmosphérique : C'est le niveau de concentration des GES (nocifs) et de particules fines dans l'atmosphère. Elle est souvent exprimée en **ppm** ou en **ppb** :

- **ppm** : Partie pour million ; cette unité exprime le nombre de molécules de CO₂ qu'on trouve dans 1 million de molécules d'air.

- **ppb** : Partie pour milliard ; cette unité exprime le nombre de molécules de CO₂ qu'on trouve dans 1 milliard de molécules d'air.

c) Vulnérabilité et Adaptation aux changements climatiques

- **Vulnérabilité** : C'est la mesure dans laquelle un système est sensible (ou incapable de faire face) aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation.

- **Adaptation** : C'est le résultat des initiatives et mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des changements climatiques réels ou prévus.
- **Capacité d'adaptation** : Ensemble des capacités, des ressources et des institutions d'un pays ou d'une région, lui permettant de mettre en œuvre des mesures d'adaptation efficaces.

d) Les niveaux Tiers (Tier 1, 2 et 3)

Les niveaux Tiers correspondent selon IPCC (2006) à une progression dans l'utilisation des équations de calcul des émissions. Ils vont des équations simples utilisant les données par défaut (non spécifique aux pays) aux systèmes plus complexes intégrant des données des pays. Les marges d'erreur des résultats varient en fonction des niveaux de calcul.

- **Niveau 1 (ou Tier 1)** propose des données et des équations par défaut ;
- **Niveau 2 (ou Tier 2)** propose d'appliquer des coefficients basés sur des données spécifiques au pays ou à la région (données plus détaillées, coefficients spécifiques). Le modèle GLEAM-*i* utilise les méthodes de calcul du Tier 2 ;
- **Niveau 3 (ou Tier 3)** propose d'utiliser des modèles et des systèmes de mesures et d'inventaires adaptés aux conditions nationales (données d'activité à résolution plus élevée, échelles spatiale et temporelle supérieures) permettant d'aboutir à des estimations plus précises et prenant mieux en compte les options d'atténuation mises en œuvre pour réduire ces émissions.

e) Lait standardisé ou lait corrigé en protéine et en matières grasses ou FPCM (*Fat and Protein Corrected Milk*). La composition du lait varie d'un animal à un autre, d'une exploitation à une autre. Le lait corrigé (FPCM) est du lait dont les taux de matières grasses et de protéines sont ramenés aux standards respectifs de 4% de matières grasses (MG) et de 3,3% de protéines (P) (FAO, 2010). Cela permet de comparer aisément les productions de provenances différentes. Le calcul utilisé ici est :

$$\text{FPCM (kg)} = \text{M (kg)} \times [0,337 + 0,116 \times \text{FC}(\%) + 0,06 \times \text{PC}(\%)]$$

M : Quantité de lait frais ; FC : Taux de MG ; PC : Taux de protéine
(FAO, 2010 ; Gerber *et al.* 2011)

Annexe 5 : Questionnaires pour les enquêtes individuelles

Questionnaire 1 : Sur les pratiques actuelles

1. Chef d'exploitation

Nom		Prénoms	
Ethnie		Age	
Groupement		Sexe	
Activité principale		Activité secondaire	
Nb de personnes à charge		Nombre actifs (≥12 ans) :	

2. Culture de l'exploitation (hivernage 2016) *Quelles surfaces cultivées en 2016 ?*

Surface totale cultivée : _____ ha

Cultures	Coton	Mais	Sorgho	Mil	Arachide	Niébé	Riz
Surface cultivée (ha)							
Cultures	Sésame	Autre :		Autre :		Autre :	
Surface cultivée (ha)							

3. Composition du troupeau *Quel est l'effectif des types d'animaux suivants ?*

Paramètre	âge	unité	Nombre	Race*
Bovins de trait (BdT)	-	tête		
Vaches reproductrices	>3 ans	tête		
Taureaux reproducteurs	>3 ans	tête		
Jeunes femelles	1-3 ans	tête		
Jeunes mâles	1-3 ans	tête		
Veaux mâles et femelles	0-1 an	tête		
Asins adultes	-	tête		-
Caprins adultes	> 1 an	tête		-
Ovins adultes	> 1 an	tête		-
Porcins adultes	> 1 an	tête		-

* Z, T, M : Zébu, Taurin, Métisse

4. Production laitière *Quelle quantité de lait avez-vous produit et vendu ?*

La saison de récolte	Quantité traite litre/jour	Nb de vache traite /jour	Quantité vendue litre/jour
Saison sèche froide (SSF) : Nov 2015- Fév			
Saison sèche chaude (SSC) : Mar-Avril 2016			
Saison pluvieuse (SP) : Mai-Oct 2016			

5. Conduite des animaux au pâturage *Nombre d'heure de pâturage par jour et par saison?*

Catégorie d'animaux		SSF	SSC	SP
		Nb heure de pâturage/jour	Nb heure de pâturage/jour	Nb heure de pâturage/jour
Bovins de trait (BdT)	-			
Vaches reproductrices	>3 ans			
Taureaux reproducteurs	>3 ans			
Jeunes femelles	1-3 ans			
Jeunes mâles	1-3 ans			
Veaux mâles et femelles	0-1 an			
Asins adultes	-			
Caprins adultes	> 1 an			
Ovins adultes	> 1 an			
Porcins adultes	> 1 an			

6. Gestion du fumier

6a. *Que produisez-vous comme fumure organique ?*

Paramètre	Quantité de fumier (nb de charrette/an)	Type de charrette
Etable / hangar		
Parc à bétail		
Stockage solide (tas)		
Fosses fumières		
Bio-digesteur		
Brûler directement		
Liquide/lisier		
Bassin anaérobique ouvert		
Autre : _____		

6b. *Comment sont logés vos animaux : sous un hangar, au piquet, au parc, au champ... ?*

Nombre d'heure de parcage des animaux par jour et par saison ?

Catégorie d'animaux		SSF		SSC		SP	
		Lieu de parcage	h/j	Lieu de parcage	h/j	Lieu de parcage	h/j
Bovins de trait (BdT)	-						
Vaches reproductrices	>3 ans						
Taureaux reproducteurs	>3 ans						
Jeunes femelles	1-3 ans						
Jeunes mâles	1-3 ans						
Veaux mâles et femelles	0-1 an						
Asins adultes	-						
Caprins adultes	> 1 an						
Ovins adultes	> 1 an						
Porcins adultes	> 1 an						

7. Alimentation

7a. Quel affouragement des vaches laitières et nombre d'animaux concernés ?

Détails Alimentation	SSF		SSC		SP		* Espèce à préciser
	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	
<i>Ligneux</i>							
<i>Foin de brousse</i>							
<i>Paille de maïs</i>							
<i>Paille de mil</i>							
<i>Paille de sorgho</i>							
<i>Autres pailles</i>							
<i>Fane de légumineuse (niébé, soja, mucuna)</i>							
<i>Son de céréales (maïs, mil, blé, mil)</i>							
<i>Farine basse de riz, blé.</i>							
<i>Grains de céréales (maïs, sorgho, mil...)</i>							
<i>Tourteaux (coton, arachide, soja)</i>							
<i>Pierre à lécher et autres minéraux</i>							
<i>Autres : _____</i>							

7b. Quel affouragement des bœufs d'élevage et nombre d'animaux concernés ?

Détails Alimentation	SSF		SSC		SP		* Espèce à préciser
	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	
<i>Ligneux</i>							
<i>Foin de brousse</i>							
<i>Paille de maïs</i>							
<i>Paille de mil</i>							
<i>Paille de sorgho</i>							
<i>Autres pailles*</i>							
<i>Fane de légumineuse (niébé, soja, mucuna)</i>							
<i>Son de céréales (maïs, mil, blé, mil)</i>							
<i>Farine basse de riz, blé.</i>							
<i>Grains de céréales (maïs, sorgho, mil...)</i>							
<i>Tourteaux (coton, arachide, soja)</i>							
<i>Pierre à lécher et autres minéraux</i>							
<i>Autres : _____</i>							

7c. Quel affouragement des ovins et nombre d'animaux concernés ?

Détails Alimentation	SSF		SSC		SP		* Espèce à préciser
	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	
Ligneux							
Foin de brousse							
Paille de maïs							
Paille de mil							
Paille de sorgho							
Autres pailles*							
Fane de légumineuse (niébé, soja, mucuna)*							
Son de céréales (maïs, mil, blé, mil)*							
Farine basse de riz, blé							
Grains de céréales (maïs, sorgho, mil...)*							
Tourteaux (coton, arachide, soja)*							
Pierre à lécher et autres minéraux							
Autres* : _____							

7d. Quel affouragement des caprins et nombre d'animaux concernés ?

Détails Alimentation	SSF		SSC		SP		* Espèce à préciser
	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	kg/jr	Nb animx	
Ligneux							
Foin de brousse							
Paille de maïs							
Paille de mil							
Paille de sorgho							
Autres pailles*							
Fane de légumineuse (niébé, soja, mucuna)*							
Son de céréales (maïs, mil, blé, mil)*							
Farine basse de riz, blé.							
Grains de céréales (maïs, sorgho, mil...)*							
Tourteaux (coton, arachide, soja)*							
Pierre à lécher et autres minéraux							
Autres* : _____							

Questionnaire 2 : Sur la mise en place des scénarios

I. Scénario 1 : Effet de la banque de fourrage

1. Si vous décidez de faire des cultures fourragères, quelles cultures choisiriez-vous de cultiver ?

Mucuna Niébé Dolique Autre : Aucune

Pourquoi ?.....
.....
.....

2. Si vous décidez de faire des cultures fourragères, quelles surfaces attribuerez-vous à ces cultures ?

	Mucuna	Niébé	Dolique	Autre :
Surface cultivée				

3. Si vous décidez de stocker des résidus de culture, quels résidus de culture choisiriez-vous de stocker et sur quelle surface (ou nb de charrette, précisez) ?

	Maïs	Sorgho	Mil	Riz	Autre :	Autre :	Autre :
Stockage (<i>Oui / Non</i>)							
Surface stockée							

Pourquoi ?.....
.....
.....

On estime alors que vous aurez :

Culture fourragère	Kg MS	Résidu stocké	Kg MS
Mucuna		Maïs	
Niébé		Sorgho	
Dolique		Mil	
Autre culture fourragère : _____		Riz	
TOTAL		Autre résidu stocké : _____	
		TOTAL	

4. Quels animaux et combien recevraient le fourrage produit et stocké ?

	Bovin de trait	Vache	Taureau	Jeune femelle	Jeune mâle	Veau mâle et femelle	Âne	Chèvre	Mouton	Porc
Nb animaux recevant ce fourrage										

A quelle saison recevraient du fourrage ?

5. Quelle sera leur ration (avec quels autres aliments recevraient-ils ces fourrages) ?

Fourrage et Aliment	Kg MS/j	Fourrage et Aliment	Kg MS/j
Mucuna		Maïs	
Niébé		Sorgho	
Dolique		Mil	
Autre:		Riz	
Tourteau		Autre	
Son		Autre:	

On estime que vous auriez alors jour d'affouragement possible avec ce stock de fourrage.

6. Qu'attendez-vous comme gain de production de vos animaux avec ce fourrage stocké ?

Rappel de la production actuelle déclarée et déclaration de la production de lait attendue

Saison de récolte	Production actuelle		Production de lait attendue	
	Quantité traite litre/jour	Nb de vache traite /jour	Quantité traite litre/jour	Nb de vache traite /jour
Saison sèche froide (SSF)				
Saison sèche chaude (SSC)				
Saison pluvieuse (SP)				

II. Scénario 2 : Effet de la complémentation à base de SPAI

1. Si vous décidez d'avoir recours à plus de sous-produits agro-industriels, lesquels choisiriez-vous ? Son de céréales Tourteau de coton Drêche Autre : Aucune

Pourquoi ?.....
.....

2. Si vous décidez d'avoir recours à plus de sous-produits agro-industriels, quelles quantités utiliseriez-vous ?

	Son de céréales	Tourteau	Drêche	Autre : _____
Nombre de sac				

On estime alors que vous auriez :

	Son de céréales	Tourteau	Drêche	Autre :	TOTAL
Kg MS					

3. Quels animaux et combien recevraient cette complémentation ?

	Bovin de trait	Vache	Taureau	Jeune femelle	Jeune mâle	Veaux mâle et femelle	Âne	Chèvre	Mouton	Porc
Nb animaux recevant le complément										

A quelle saison ?

4. Quelle sera leur ration (avec quels autres aliments recevraient-ils ces compléments) ?

Fourrage et Aliment	Kg MS/j	Fourrage et Aliment	Kg MS/j
Mucuna		Maïs	
Niébé		Sorgho	
Dolique		Mil	
Tourteau		Riz	
Son de céréale		Autre:	

On estime que vous auriez alors..... jour de complémentation possible avec ce stock.

5. Qu'attendez-vous comme gain de production de vos animaux avec ce fourrage stocké ?

Rappel de la production actuelle déclarée et déclaration de la production de lait attendue

Saison de récolte	Production actuelle		Production de lait attendue	
	Quantité traite litre/jour	Nb de vache traite /jour	Quantité traite litre/jour	Nb de vache traite /jour
Saison sèche froide (SSF)				
Saison sèche chaude (SSC)				
Saison pluvieuse (SP)				

III. Scénario 3 : Effet du parcage sous hangar

« Actuellement vous gérer les déjections animales de telle et telle façon »

1. Si vous décidez de parquer vos animaux sous un hangar, Pourquoi ce changement ?

.....

2. Si vous décidez de parquer vos animaux sous un hangar, de quels animaux s'agirait-il ? Et combien d'animaux cela concernerait ?

	Bd T	Vache	Taureau	J. femelle	J. mâle	Veau	Âne	Chèvre	Mouton	Porc
Nb animaux parqués										

Pourquoi ce choix ?

.....

3. Les animaux seraient parqués à quelle saison et combien de temps ?

Saison de récolte	Nb de jour de parcage de jour	Nb de jour de parcage de nuit	Nb d'heure de parcage total
Saison sèche froide (SSF)			
Saison sèche chaude (SSC)			
Saison pluvieuse (SP)			

On estime alors que vous auriez alors kg de MS de fumier

IV. Scénario 4 : Effet de la fosse fumière

« Actuellement vous gérer les déjections animales de telle et telle façon »

1. Si vous décidez de réaliser une fosse fumière pour transformer les déjections de vos animaux, Pourquoi ce changement ?

.....

2. Si vous décidez de faire une fosse fumière, quel serait la dimension de la fosse ?

.....

3. Avec quels éléments remplirez-vous la fosse et en quelle quantité ?

Utilisation (Oui / Non)	Ordures de la maison	Déjection animale	Refus de l'affouragement	Résidus de culture en litière	Autre : _

Déjections des animaux

	BdT	Vache	Taureau	J. femelle	J. mâle	Veau	Âne	Chèvre	Mouton	Porc
Nb animaux parqués										
Nb heure de parcage/jr SSF										
Nb heure de parcage/jr SSC										
Nb heure de parcage/jr SP										

	Nb jour en SSF	Nb jour en SSC	Nb jour en SP
Ordures de combien de jr/ saison ?			
Refus d'affouragement de jr/ saison ?			

Apport de litière	Maïs	Sorgho	Mil	Coton	Autre : __	Autre : __
Quantité utilisée (nb charrette)						

On estime alors que vous auriez alors..... kg de fumier.

Annexe 6 : Des scénarios d'amélioration des productions animales

A. Scénarios sur l'Alimentation		
Liste des scénarios soumis à la discussion avec les acteurs et qui a débouché sur le choix des scénarios S1 et S2.		
Scénarios	Exemple	Description
Scénarios 1	Constitution de banques fourragères	<ul style="list-style-type: none"> - Fauchage et stockage du fourrage naturel : <i>Stylosanthes, Andropogon...</i> - Fauchage et stockage de cultures fourragères (mucuna, panicum...) - Stockage de RdC : fane de soja, de niébé, d'arachide, paille de céréales.
Scénarios 2	Complémentation avec de SPAI et concentrés	<ul style="list-style-type: none"> - Tourteaux de coton, d'arachide. - Drèche de mil, de brasserie industrielle... - Mélasse, Sons...
Scénarios 3	Fabrication de foin	<ul style="list-style-type: none"> - Fauche d'herbe de bonne qualité - Séchage - Constitution des bottes - Stockage
Scénarios 4	Ensilage	<ul style="list-style-type: none"> - Fauche d'herbe de bonne qualité - Dépôt dans des silos - Additions d'urée...
Scénarios 5	Traitement de la paille à l'Urée	Les espèces naturelles telles <i>Pennisetum, Andropogon Pannicum maximum...</i> à traiter par l'Urée, l'Ammoniac
Scénarios 6	Traitement physiques des aliments	<ul style="list-style-type: none"> - Hachage, Broyage des aliments grossiers. - Torrification des grains (soja, coton...)
Scénario 7	Culture de ligneux fourragers	<ul style="list-style-type: none"> - Régénération Naturelle Assistée (RNA) de ligneux fourragers - Plantation d'arbres fourragers - Protection des pistes pastorales
Scénario 8	Equilibre des rations alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> - % Fourrages + % Concentrés - Besoins : Energie, Azote, Minéraux, Vitamines
Scénario 9	Contrôle de l'effet antinutritionnel de certains aliments	<ul style="list-style-type: none"> - Le coton : Gossypol - L'arachide : Aflatoxine - Le sorgho : tanin

B. Scénarios sur la gestion du fumier

Liste des scénarios soumis à la discussion avec les acteurs et qui a débouché sur le choix des scénarios S3 et S4.

Scénarios	Exemples	Description
Scénario 1	Parc	Déjections + terre = poudrette (terre de parc)
Scénario 2	Tas d'ordures ménagères	<ul style="list-style-type: none"> - Fosse - Apport quotidien d'ordures ménagères - Epandage dans les champs
Scénario 3	Parcage sous hangar	<ul style="list-style-type: none"> - Confection de hangar - Parcage et alimentation des animaux sous hangar - Déjections + refus alimentaire = engrais
Scénario 4	Fosse à compost	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensions de la fosse : 3x3x1,2 m - Apport de résidus de culture - Apport d'ordures ménagères - Apport de refus alimentaires - Apport déjection d'animaux - Arrosage - Retournements...
Scénario 5	Etables fumières	<ul style="list-style-type: none"> - Déjection d'animaux - Apport de litière
Scénario 6	Parcage direct	<ul style="list-style-type: none"> - Parcage direct d'animaux dans les champs - Consommation des résidus par les animaux - Déjections restent sur les lieux - Rotation du troupeau
Scénario 7	Bio-digesteur	<ul style="list-style-type: none"> - Construction du bio-digesteur - Apport de déjection + eau - Production de biogaz (CH₄) pour cuisine, éclairage - Refus de fosse pour fertilisation des champs
Scénario 8	Parc d'hivernage	<ul style="list-style-type: none"> - Déjection d'animaux - Apport de litière
Scénario 9	Au piquet	<ul style="list-style-type: none"> - Animal attaché et nourri au piquet - Déjections d'animaux dans les champs

Annexe 7 : Images des scénarios



S1 : Fourrages stockés



S2 : SPAI (tourteau de coton)



S3 : Parcage sous-hangar



S4 : Fosses fumières

Annexe 8 : Paramètres d'entrée des combinaisons de scénarios

A. Amélioration des productions fixée				
Paramètres	S1+S3	S1+S2+S3	S1+S2+S3+S4	S2+S3+S4
Production laitière (kg)	+25%	+35%	+35%	+25%
Poids femelle d'abattage (kg)	+7,5%	+12,5%	+15%	+12,5%
Poids mâle d'abattage (kg)	+7,5%	+12,5%	+15%	+12,5%

B. Paramètres d'entrées des associations de scénarios													
Paramètres		Scénario 1+3			Scénario 1+2+3			Scénario 1+2+3+4			Scénario 2+3+4		
		A	AE	E	A	AE	E	A	AE	E	A	AE	E
Typologie	Troupeau (tête)												
	Vaches reproductives	2423	5890	18963	2423	5890	18963	2423	5890	18963	2423	5890	18963
	Taureaux reproducteurs	8884	4154	5508	8884	4154	5508	8884	4154	5508	8884	4154	5508
Alimentation (%)	Pâturage vert	9,28	41,59	44,79	8,93	40,3	42,08	8,93	40,3	42,08	32,29	51,48	51,55
	Pâturage sec	10,07	26,30	38,81	9,7	25,52	36,44	9,7	25,52	36,44	35,06	32,56	44,64
	Paille de maïs	40,24	8,96	8,34	38,75	8,69	7,83	38,75	8,69	7,83	13,09	7,34	1,14
	Paille de sorgho	9,90	4,67	0,99	9,54	4,53	0,93	9,54	4,53	0,93	8,78	4,07	0,62
	Paille de riz	4,13	0,73	0	3,97	0,71	0	3,97	0,71	0	2,07	0,43	0
	Pailles autres céréales	0	1,10	0	0	1,06	0	0	1,06	0	0	0	0,04
	Fane de légumineuses	25,36	14,23	5,73	24,42	13,79	5,38	24,42	13,79	5,38	5,17	1,13	0,48
	Sons et autres SPAI secs	0,03	0,66	0,36	0,86	1,94	2,93	0,86	1,94	2,93	0,10	0,82	0,41
	Tourteaux de coton	0,99	1,75	0,98	3,43	3,46	4,41	3,43	3,46	4,41	3,45	2,17	1,13
	Drèche et autres SPAI humides	0	0	0	0,39		0	0,39		0	0	0	0
Gestion du fumier (%)	Pâturage	16,09	19,57	32,15	16,09	19,57	32,15	16,09	19,57	32,15	16,09	19,57	32,15
	Etable/parc	13,36	26,15	41,63	13,36	26,15	41,63	9,54	25,66	36,7	9,54	25,66	36,7
	Stockage solide (tas)	66,83	43,76	11,71	66,83	43,76	11,71	70,75	44,1	16,37	70,75	44,1	16,37
	Epannage quotidien	3,72	8,71	14,51	3,72	8,71	14,51	3,62	8,84	14,78	3,62	8,84	14,78
	Bio-digesteur	0	1,81	0	0	1,81	0	0	1,83	0	0	1,83	0