



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI (UAC)

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET DE L'EAU (EDSAE)

UNIVERSITE DE LIEGE (UL)

DEPARTEMENT DE GESTION VETERINAIRE DES RESSOURCES ANIMALES (DRA)

FORMATION DOCTORALE : SCIENCES ET TECHNIQUES DE PRODUCTION ANIMALE

OPTION : MANAGEMENT DES RESSOURCES ANIMALES

SPECIALITE : ZOOTECHNIE, ALIMENTATION – NUTRITION, PASTORALISME

Thèse en vue de l'obtention de **Doctorat (PhD)** en cotutelle entre l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) et l'Université de Liège (Belgique)

CONTRIBUTION À LA RECHERCHE DE STRATÉGIES DURABLES D'ALIMENTATION DES PETITS RUMINANTS EN RÉGIONS SOUDANO- SAHÉLIENNE ET GUINÉENNE AU BÉNIN (AFRIQUE DE L'OUEST)



Défendue publiquement à l'Université d'Abomey-Calavi, au Batiment Sokpon, le 02 Avril 2026

Par: Euvrard Landry Romaric **GNINKPLEKPO**

Promoteur de thèse :

Dr Marcel R.B HOUINATO, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Co-Promoteur de thèse :

Dr Jean-François CABARAUX, Professeur Titulaire, Université de Liège, Belgique

Année académique : 2025-2026



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI (UAC)

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET DE L'EAU (EDSAE)

UNIVERSITE DE LIEGE (UL)

DEPARTEMENT DE GESTION VETERINAIRE DES RESSOURCES ANIMALES (DRA)

FORMATION DOCTORALE : SCIENCES ET TECHNIQUES DE PRODUCTION ANIMALE

OPTION : MANAGEMENT DES RESSOURCES ANIMALES

SPECIALITE : ZOOTECHNIE, ALIMENTATION – NUTRITION, PASTORALISME

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de **Doctorat (PhD)** en cotutelle entre
l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) et l'Université de Liège (Belgique)

**CONTRIBUTION À LA RECHERCHE DE STRATÉGIES DURABLES
D'ALIMENTATION DES PETITS RUMINANTS EN RÉGIONS SOUDANO-
SAHÉLIENNE ET GUINÉENNE AU BÉNIN (AFRIQUE DE L'OUEST)**

Défendue publiquement à l'Université d'Abomey-Calavi, au bâtiment Sokpon, le 02 Avril 2026

Par:

Euvrard Landry Romaric **GNINKPLEKPO**

Devant un Jury composé de :

Président :

Dr Sévérin BABATOUNDE, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Rapporteur :

Dr Jean-Paul DEHOUX, Professeur Titulaire, Université Catholique de Louvain, Belgique

Rapporteur :

Dr Nassim MOULA, Professeur Titulaire, Université de Liège, Belgique

Rapporteur :

Dr Ibrahim ALKOIRET TRAORE, Professeur Titulaire, Université de Parakou, Bénin

Examineur :

Dr Seibou SOUMANOU TOLEBA, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Promoteur de thèse :

Dr Marcel R.B HOUINATO, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Co-Promoteur de thèse :

Dr Jean-François CABARAUX, Professeur Titulaire, Université de Liège, Belgique

Année académique : 2025-2026



UNIVERSITY OF ABOMEY- CALAVI (UAC)

DOCTORAL SCHOOL OF AGRONOMIC SCIENCES AND WATER (EDSAE)

UNIVERSITY OF LIEGE (UL)

DEPARTMENT OF VETERINARY MANAGEMENT OF ANIMAL RESOURCES (DRA)

DOCTORAL TRAINING: SCIENCES AND TECHNIQS OF ANIMAL PRODUCTION

OPTION : MANAGEMENT OF ANIMAL RESOURCES

SPECIALITY : ZOOTECHNIC, ALIMENTATION – NUTRITION, and PASTORALISM

Thesis presented for obtaining the **Doctorate Degree (PhD)** of University of
Abomey-Calavi (Benin) and University of Liege (Belgium)

**CONTRIBUTION TO THE SEARCH FOR SUSTAINABLE FEEDING
STRATEGIES FOR SMALL RUMINANTS IN THE SUDANO-SAHELIAN AND
GUINEAN REGIONS OF BENIN (WEST AFRICA)**

Publicly defended at University of Abomey-Calavi, Sokpon's building, on April 2, 2026

By:

Euvrard Landry Romaric **GNINKPLEKPO**

Member of the examination board / Jury :

Chairman :

Dr Sévérin BABATOUNDE, Full Professor, University of Abomey-Calavi, Benin

Reviewer:

Dr Jean-Paul DEHOUX, Full Professor, Catholic University of Louvain, Belgium

Reviewer :

Dr Nassim MOULA, Full Professor, University of Liege, Belgium

Reviewer :

Dr Ibrahim ALKOIRET TRAORE, Full Professor, University of Parakou, Benin

Examinator :

Dr Seibou SOUMANOU TOLEBA, Full Professor, University of Abomey-Calavi, Benin

Thesis Promotor :

Dr Marcel R.B HOUINATO, Full Professor, University of Abomey-Calavi, Benin

Thesis Co-Promotor :

Dr Jean-François CABARAUX, Full Professor, University of Liege, Belgium

Academic year : 2025-2026

Dédicace

A nos parents : notre père Gabriel Gnikplékpo, et notre mère Pauline Ganwin, pour tous les sacrifices consentis pour nous voir réussir. Vous nous avez enseignés le sens du travail bien fait, de la persévérance, et de l'amour dans toutes nos entreprises. Ce travail est le vôtre !

A notre petite famille, Norah L.N. Kpodo mon épouse et notre fille Kostiany. Vos prières de tous les moments et votre soutien inconditionnel à toute épreuve étaient réconfortants et déterminants pendant les moments les plus critiques de déroulement de ce travail. Cette thèse vous appartient entièrement.

Remerciements

Ce travail est avant tout une œuvre de Dieu, le grand architecte de l'univers, qui donne vie et forme à tout. Nous nous inclinons devant sa sainteté et Lui exprimons toute notre reconnaissance, pour sa présence constante dans notre vie. Que Ses bénédictions continuent éternellement, Amen ! Aux personnes (physique, morale) qui ont contribué à l'aboutissement de cette thèse, nous exprimons nos vives et sincères gratitudes. Qu'il nous soit permis de citer:

- L'Académie de Recherche et l'Enseignement Supérieur (ARES) du Royaume de Belgique pour son soutien financier au détour du Projet de Recherche pour le développement (PRD) « *Amélioration durable des systèmes traditionnels d'élevage de petits ruminants dans un contexte de mutations environnementale et sociétale au Bénin* », et les membres des équipes (Nord, et Sud) de coordination dudit projet ;
- Nos promoteurs, les Professeurs Marcel Romuald Benjamin Houinato et Jean-François Cabaraux. Vous avez accepté de superviser ce travail malgré vos multiples occupations. Vous avez toujours été disponibles pour nous accompagner durant ce parcours. Votre exigence et votre rigueur scientifique ont contribué à rehausser la qualité de ce document. De plus, votre forte sociabilité a rendu l'ambiance de travail très favorable, et a renforcé notre confiance et détermination pour aller jusqu'au bout de cette riche et fructueuse expérience. Chers professeurs, au risque d'altérer votre humilité, nous vous disons « **MERCI** » au nom de notre famille, et en notre propre nom ;
- Les membres de nos comités de thèse à la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) de l'Université d'Abomey-CALAVI (UAC, Bénin) et à la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège (ULiège, Belgique), envers qui nous sommes très reconnaissants et tous les autres professeurs que nous avons côtoyés. Vos remarques et suggestions nous ont permis de bien conduire nos travaux de recherche. Il nous plaît de nommer les professeurs : Luc Hippolyte Dossa, Dahouda Mahamadou, Séverin Babatoundé, Ismaël Toko, Ivan Koura, Paolo Lesse, Alain Yaoitcha, Vital Tchibozo, Carlos Ahoyo, Christian Adjahossou, Guy Appolinaire Mensah, Marthe Montcho, Georcellin Alowanou Meryas Kouton, Nicolas Antoine-Moussiaux, Johanne Detilleux, Nassim Moula, Frédéric Farnir, Jean-Luc Hornick, Dominique Demblon, et Claire Avril ;
- Les membres de notre jury, en particulier les professeurs Soumanou Toléba, Ibrahim Traoré Alkoiret, Jean-Paul Dehoux, et Isabelle Dufrasne; à qui nous adressons de sincère gratitude ;

- Les Docteurs : Murielle Zanou, Esaïe Tchétan, Habib Whannou, Thierry Kinkpé, Benoit Govoeyi, Pascal Kiki, Ignace Dotche, Farid Akadiri, Maurice Ahozonlin, Sandrine Houessou, Youcef Chebli, Samira Chetif, Soumaya Boukrouh, pour les précieux moments partagés ensemble ;
- Nos collègues : Albane Rives, Maillis Humbel, Thomas Julian Irabor, Alexia Maldague, Thérance Gangbazo, Elodiade Houindote, Chimei Ahouangan, Gédéon Anagonou, Pauline Déguenon, et Adèle Adatin, pour tous les moments chaleureux passés ensemble et les débats très constructifs ;
- L'ensemble du personnel administratif et technique de l'Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi, et du Département de Gestion Vétérinaire des Ressources Animales de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège, et spécialement à Appolinaire Effio, et Edwin Dawans, pour leurs constants appuis et soutiens ;
- L'ensemble des étudiants ayant participé aux travaux de terrain, d'expérimentation, et de laboratoire durant cette thèse. Il s'agit de : Blaise Dako, Sébastien Muraille, Lydie Sohoun, Godfried Zodekon, Simon Huzaifa, Rodolphe Mignonnou, Jodelet Accalogoun, Junior Gnonhoue, Dah Kololo, Félicité Adoukonou, et Théophile Ahouansou ;
- Nos frères et sœurs, cousins et cousines, neveux et nièces, oncles et tantes, pour leur affection et dévouement à notre égard ;
- Les éleveurs de petits ruminants de la zone d'étude pour leur disponibilité et adhésion à ce travail, de même que les agents des Cellules Communales de Développement Agricole, pour leur appui chaque fois que cela était nécessaire ;
- Enfin, que tous ceux et celles qui ont eu une quelconque pensée ou un acte de soutien à notre égard dans l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Stratégies de réduction des émissions de CH ₄ chez les ruminants (Gbenou et al., 2024).....	34
Table 2: description of the study area.....	52
Table 3: Socio-demographic characteristics of small ruminant farmers in five agroecological zones of Benin	59
Table 4: Small ruminant production characteristics in five agroecological zones studied (% of interviewed).....	63
Table 5: Perceptions and causes of climate change according to small ruminant farmers in five agroecological zones of Benin.....	67
Table 6: Impacts perceived by the small ruminant farmers of climate change in five agroecological zones of Benin.....	70
Tableau 7: Current and future adaptation measures cited by small ruminant farmers against climate change in the five agroecological zones.....	73
Table 8: Binary logistic regression results on predicting “diversification of feed resources” as a current adaptive strategy.....	76
Table 9: Binary logistic regression results on predicting “feeding intensification with supplements” as a current adaptive strategy.....	77
Table 10: Binary logistic regression results on predicting “new feed resources exploration” as a future adaptive strategy.....	77
Table 11: Binary logistic regression results on predicting “forage cultivation” as a future adaptive strategy.....	78
Table 12: Description of the variables used for multiple correspondence analysis (MCA).....	88
Table 13: Variance of information explained by the factorial axes according to the multiple correspondence analysis.....	89
Table 14: Scores of variables on the first three factorial axes.....	90
Table 15: Socio-economic characteristics of farmers according to feeding strategy groups.....	94
Table 16: Seasonal feeding practices on small ruminants’ farms in the agro-ecological zones.....	97
Table 17: Feeding resources categories used in small ruminant farms across agro-ecological zones.....	98
Table 18: Forage resources used in small ruminant farms across agroecological zones.....	99
Table 19: Seasonal use of supplementary feed resources in small ruminant farms across agro ecological zones.....	101
Table 20: Nutritional values of feed resources used in small ruminant farms.....	103
Table 21: Nutritional characteristics of groups of trees and shrub leaves resulting from K-mean cluster analysis.....	106
Table 22: Nutritional characteristics of groups of agro industrial by-products and crop residues resulting from K-mean cluster analysis.....	107
Table 23: Chemical composition of dried woody plant leaves.....	125
Table 24: Relative intake and preference coefficient of dried woody plant leaves by sheep according to sex.....	127
Table 25: Real-time consumption and number of visits of dried woody plant leaves by sheep according to sex.....	128
Table 26: Average intake values of dried woody plant leaves by sheep according to sex....	130

Table 27: Voluntary intake and digestibility of dry and organic matters of diets supplemented with different dried woody plant leaves by sheep.....	132
Table 28: Rations tested and their characteristics.	144
Table 29: Diets and nutrient intakes by sheep groups (n=6), fed with a control diet (R0) or either diets containing <i>M. esculenta</i> peelings (R1) or <i>M.indica</i> leaves (R2)	147
Table 30: Average daily gain, feed consumption index, and feed conversion rate, in sheep fed with a control diet (R0) or either diets containing <i>M. esculenta</i> peelings (R1) or <i>M.indica</i> leaves (R2).....	148
Table 31: Voluntary intake of dry matter, and digestibility of dry matter by sheep according to a control diet (R0) or either diets containing <i>M. esculenta</i> peelings (R1) or <i>M. Indica</i> leaves (R2).....	150
Tableau 32 : Valeurs bromatologiques des rations testées.....	160
Tableau 33 : Ingestion moyenne journalière de chevreaux recevant une ration témoin (R0), ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2)	164
Tableau 34 : Gain Moyen Quotidien (GMQ), l'indice de consommation alimentaire des chevreaux recevant une ration témoin (R0), ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2)	165
Tableau 35 : Matière sèche volontairement ingérée, Digestibilité apparente de la matière sèche des chevreaux recevant une ration témoin R0, ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2).....	166
Tableau 36 : Émission de CH ₄ des chevreaux recevant une ration témoin (R0), ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2) suivant les périodes de la journée.....	166

Liste des figures et illustrations

Figure 1 : Part des secteurs d'activité dans le PIB du Bénin (DSA, 2024a).....	9
Figure 2 : Contribution de l'élevage au PIB agricole (DSA, 2024a)	9
Figure 3 : Brebis Djallonké (© E. Gninkplékpo).....	11
Figure 4 : Troupeau de mouton Sahélien au pâturage (© E. Gninkplékpo).....	12
Figure 5 : Chèvre Djallonké et son chevreau (© E. Gninkplékpo)	13
Figure 6 : Chèvres Sahélien au pâturage (© E. Gninkplékpo)	13
Figure 7 : Illustrations du système d'élevage pastoral (© E. Gninkplékpo).....	15
Figure 8 : Illustrations du système agropastoral (© E. Gninkplékpo).....	16
Figure 9 : Illustration du système d'élevage sédentaire (© Gninkplékpo).....	16
Figure 10 : <i>Panicum maximum</i> C1 (© E. Gninkplékpo).....	18
Figure 11 : <i>Brachiaria ruziziensis</i> (©E. Gninkplékpo).....	18
Figure 12 : <i>Aeschynomene histrix</i> (© E. Gninkplékpo).....	19
Figure 13 : <i>Centrosema pubescens</i> (© E. Gninkplékpo)	19
Figure 14 : Arbre de <i>Pterocarpus eurinceus</i> (© E. Gninkplékpo)	19
Figure 15 : Arbuste de <i>Gliricidia sepium</i> (© E Gninkplékpo)	19
Figure 16 : Paille de maïs (© Google image, en libre accès et consulté le 10/11/24).....	20
Figure 17 : fanes d'arachide (© Google image, en libre accès et consulté le 10/11/24)	20
Figure 18 : Épluchures de manioc (© E. Gninkplékpo)	21
Figure 19 : Drèche de sorgho (© E. Gninkplékpo)	21
Figure 20: Conceptual framework of the study.	50
Figure 21: Map of the study area showing the surveyed municipalities in the agroecological zones	51
Figure 22: Mean annual rainfall in five agroecological zones in Benin from 1990 to 2020 (National American Security Agency, 2021).	56
Figure 23: Mean temperature of the three warmest months and the three coldest months per year in five agroecological zones in Benin from 1990 to 2020 (National American Security Agency, 2021).	57
Figure 24: Mean annual relative humidity trend across the five agroecological zones from 1990 to 2020 (National American Security Agency, 2021).....	57
Figure 25: Feeding strategies following the Hierarchical Classification Analysis	91
Figure 26: Dendrogram showing a group of woody forages based on nutritional values.....	105
Figure 27: Dendrogram showing a group of agro-industrial by-products and crop residues based on nutritional values.....	105
Figure 28: Map of study area.....	120

Figure 29: Sheep in metabolic cages (© E. Gninkplékpo).....	123
Figure 30: Individual pens for sheep (© E. Gninkplékpo).....	123
Figure 31: Chemical composition of feed resources projection on Principal Component Analysis axes.	125
Figure 32: Dry matter intake of dried woody plant leaves by sheep according to sex across observation periods.	131
Figure 33 : Feuilles de manguier (<i>M. indica</i>).....	138
Figure 34 : Tourteau de coton (<i>Gossypium hirsutum</i>).....	138
Figure 35: Map of experimental area.	143
Figure 36: Evolution of ADG in sheep fed with a control diet (R0) or either diets containing <i>M. esculenta</i> peelings (R1) or <i>M. indica</i> leaves (R2) during study weeks.	149
Figure 37 : Dispositif technique de mesure de CH ₄ (© E. Gninkplékpo).....	162
Figure 38 : Caprin portant les lunettes à oxygénation pour la mesure de CH ₄	162

Abréviations

Ad	Apparent digestibility/ Digestibilité apparente
ADG	Average Daily Gain
ADF	Acid Detergent Fiber/ Fibres détergentes acides
ADL	Acid Detergent Lignin/ lignine détergente acide
AEZ	Agroecological zones
AG	Acides Gras
AGV	Acides Gras Volatiles
ANOVA	Analysis of Variance
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
ASH	Total Ash
Ca	Calcium
CC	Crude Cellulose
CH ₄	Methane
CI	Consumption Index
CO ₂	Dioxyde de carbone
CP	Crude Protein
DM	Dry Matter
DMd	Dry Matter Apparent Digestibility
DMI	Dry Matter Intake
DSA	Direction de la Statistique Agricole
EB	Energie brute
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAT	Total Fatty Acids
FCFA	Franc des communautés financières Africaine
FCR	Feed Conversion Ratio
FSA	Faculty of agricultural sciences/ Faculté des sciences agronomiques
g/kg	gramme per kilogramme
GES	Gaz à effet de serre
GMQ	Gain Moyen Quotidien
GP	Gain de poids
H ₂	Dihydrogène
HCA	Hierarchical Classification Analysis
Hem	Hemicellulose
IC	Indice de Consommation
IPCC	Intergovernmental Panel on climate Change
K	Potassium
MAEP	Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage, et de la Pêche
MCA	Multiple Correspondence Analysis
MG	Matière Grasse
Mg	Magnesium
MJ	Mégajoule
MO/OM	Organic matter/Matière organique
MS	Matière Sèche
MSI	Matière Sèche Ingérée
N ₂ O	Protoxyde d'azote
NDF	Neutral Detergent Fiber / Fibres Détergentes Neutres
NIRS	Near Infrared Spectroscopy / Spectroscopie proche infrarouge
ODD	Objectifs de Développement Durable
OM	Organic Matter
OMd	Organic Matter Apparent digestibility

P	Phosphorus
PB	Protéine brute
PC	Preference Coefficient
PCA	Principal Component Analysis
PDI	Digestible protein in the Intestine
PIB	Produit Intérieur Brut
RI	Relative Intake
SA	Stratégie d'alimentation
SF6	Hexafluorure de soufre
UAC	University of Abomey-Calavi
UF	Unité fourragère/Forage Unit
UFL	Unité Fourragère Lait
UFV	Unité Fourragère Viande
WG	Weight Gain
ZAE	Zone Agroécologique

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements	ii
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures et illustrations	vi
Résumé	xiii
Summary	xvi
Préambule général	2
Chapitre 1 : Introduction.....	5
1 Contexte de l'étude	5
2 Quelques chiffres sur l'élevage de petits ruminants en Afrique de l'Ouest, et au Bénin en particulier	8
3 Principales espèces de petits ruminants représentées en Afrique de l'Ouest et au Bénin	9
3.1 Description des principales races ovines.....	10
3.2 Description des principales races caprines	12
3.3 Systèmes d'élevage des petits ruminants en Afrique de l'Ouest et au Bénin	14
4 Ressources d'alimentation des petits ruminants en Afrique de l'Ouest et au Bénin	17
4.1 Ressources fourragères.....	17
4.2 Potentiel nutritif des ressources d'alimentation des petits ruminants	21
4.3 Quelques données de performances zootechniques des petits ruminants nourris avec les différentes ressources d'alimentation.....	23
5 Changement climatique : perceptions, et mesures d'adaptation dans les élevages de petits ruminants en Afrique de l'Ouest et au Bénin	24
5.1 Perception des manifestations du changement climatique.....	24

5.2	<i>Mesures d'adaptation aux effets du changement climatique</i>	25
6	Lien entre l'élevage de ruminants et le changement climatique	26
6.1	<i>Facteurs influençant la production du CH₄ entérique</i>	28
6.2	<i>Pistes de réduction des émissions de CH₄ entérique chez les ruminants</i>	32
6.3	<i>Méthodes de mesure d'émission de CH₄ courantes en Afrique subsaharienne</i>	34
Chapitre 2 : Objectifs de l'étude		40
Chapitre 3, étude 1: Small ruminant farmers' feeding strategies to cope with climate change across five agroecological zones of Benin, West Africa		44
Chapitre 4, étude 2: Diversity of feeding practices and quality of feed resources used in small ruminant farming in Benin (West Africa)		82
Chapitre 5, étude 3 : Forage Preference, Voluntary Intake, and In Vivo Digestibility of Six Tropical Tree Leaves by Sheep in Semi-Arid Areas in Benin Republic (West Africa)		114
Chapitre 6, étude 4: Effect of incorporating dried cassava (<i>M. esculenta</i>) peelings or mango (<i>M. indica</i>) leaves on intake, growth, and digestibility by Djallonke sheep		138
Chapitre 7, étude 5 : Effet des épiluchures séchées <i>M. esculenta</i> ou des feuilles de <i>M. indica</i> dans la ration sur l'ingestion, la croissance, et l'émission de CH ₄ chez les caprins Djallonké		154
Chapitre 8 : Discussion générale		174
Chapitre 9 : Conclusion et perspectives de recherche		183
Bibliographie		186

Résumé - Abstract

Résumé

Au Bénin, comme dans tous les pays, le secteur agricole est affecté par les effets des changements climatiques. Parallèlement, la croissance démographique entraîne une augmentation des besoins de consommation alimentaire, plaçant ainsi la sécurité alimentaire au rang de défi majeur constant. Dans ce contexte, le secteur de l'élevage, et plus spécifiquement celui des ruminants, doit s'efforcer de concilier l'évolution des facteurs climatiques et socio-territoriaux avec l'augmentation de la productivité animale, tant sur les plans quantitatifs que qualitatifs. Cette étude vise à fournir une analyse holistique des pratiques d'alimentation dans les élevages traditionnels de petits ruminants.

Plusieurs axes complémentaires de recherche ont été explorés, incluant : i) la description des perceptions et des mesures d'adaptation au changement climatique dans les élevages ; ii) la caractérisation des pratiques et des ressources alimentaires utilisées dans ces élevages ; iii) l'étude du comportement alimentaire des animaux face aux ressources alimentaires ; et iv) l'évaluation des performances zootechniques et des niveaux d'émission de méthane (CH₄) chez les petits ruminants nourris avec des rations composées de ressources alimentaires localement disponibles et accessibles. Un questionnaire semi-structuré a été utilisé auprès de 400 élevages, pour recueillir des données sur les caractéristiques des systèmes de production, la perception des éleveurs concernant l'impact du changement climatique sur la production animale ainsi que leurs stratégies d'adaptation, et les ressources et stratégies alimentaires utilisées pour les ovins et les caprins. Ces études ont pris en compte les cinq zones agroécologiques (ZAE) ci-après : Mékrou-Penjari (MK) ; Sud Borgou (SB) ; Chaîne de l'Atacora (AC) ; Vallée de l'Ouémé (OV) ; Plateau (PL). Par ailleurs, une étude de préférence alimentaire a été réalisée en station sur différentes feuilles de ligneux afin de déterminer leur impact sur les taux d'ingestion de matière sèche (MS) et leur digestibilité apparente (dMS) dans les régimes alimentaires des ovins Djallonké. Enfin, trois rations alimentaires ont été formulées, dans lesquelles le tourteau de coton a été partiellement remplacé par des épiluchures de manioc (*Manihot esculenta*) ou des feuilles de manguier (*Mangifera indica*), dans le but d'évaluer les paramètres d'ingestion, de croissance, de dMS in vivo, ainsi que les émissions de CH₄.

Les statistiques de fréquence et de moyenne, assorties des tests de Chi² et de Kruskal-Wallis ont été appliquées respectivement aux données qualitatives et quantitatives d'enquête. Une analyse des correspondances multiples (ACM), suivie d'une analyse de classification hiérarchique (ACH), a permis de distinguer et de caractériser les différentes stratégies d'alimentation. La qualité des ressources alimentaires a été évaluée par spectroscopie proche

infrarouge (NIRS). L'analyse de la variance (ANOVA) et les tests de Newman-Keuls ont permis de comparer les niveaux d'ingestion et de digestibilité des différentes rations. De plus, une étude de préférence alimentaire a été réalisée sur plusieurs espèces de feuilles ligneuses afin d'identifier les meilleurs choix pour nourrir les ovins Djallonké, en se basant sur les valeurs d'ingestion de matière sèche (MS) et la dMS des régimes alimentaires.

Les résultats ont révélé que les éleveurs perçoivent les manifestations du changement climatique, telles que les retards dans l'installation des pluies, l'allongement des périodes de sécheresse, les variations de température et les inondations, avec des différences significatives entre les ZAE ($p \leq 0,05$). Ces changements ont eu des impacts négatifs sur la production de biomasse des pâturages naturels et sur la disponibilité de l'eau. Les stratégies d'adaptation actuelles et futures des éleveurs varient de manière significative ($p \leq 0,05$) entre les ZAE, englobant la libre divagation des animaux, la diversification des ressources alimentaires et l'intensification alimentaire comme stratégies actuelles, ainsi que l'exploration de nouvelles ressources alimentaires et la culture fourragère comme stratégies futures. Des facteurs tels que le sexe, le niveau d'éducation, et l'activité principale des éleveurs ainsi que la ZAE ont également influencé les stratégies d'adaptation.

Les quatre stratégies d'alimentation (SA) suivantes ont été identifiées, avec des variations significatives ($p \leq 0,05$) entre les ZAE : SA1) élevages extensifs de caprins et d'ovins sur pâturage naturel exclusif (13,7 %) ; SA2) élevages de chèvres complétés par des sous-produits agro-industriels (32,8 %) ; SA3) élevages de chèvres et d'ovins complétés par des sous-produits agro-industriels et des résidus de culture (43 %) ; SA4) élevages d'ovins complétés uniquement pendant la saison sèche (10,5 %). Les ressources alimentaires, notamment les plantes fourragères et ligneuses, ainsi que les sous-produits agro-industriels et les résidus de culture, ont été évoquées de manière variable selon les ZAE ($p \leq 0,001$). Ces ressources présentaient des valeurs nutritives variées selon les nutriments considérés, mais toutes affichaient de bonnes teneurs en matière sèche (MS), avec des variations notables pour les protéines brutes (PB), les fibres détergentes neutres (NDF), les fibres détergentes acides (ADF), la lignine détergente acide (ADL) et les matières grasses totales (MG).

L'étude de préférence alimentaire a révélé des différences significatives ($p \leq 0,05$) en fonction des espèces ligneuses. Les feuilles de *M. indica*, *Blighia sapida* et *Khaya senegalensis* étaient bien ingérées par les animaux, avec des valeurs de dMS supérieures à 70%. Les rations proposées, incluant les épluchures de manioc ou les feuilles de manguier, ont montré des effets positifs sur les niveaux d'ingestion de MS ainsi que sur les gains moyens quotidiens (GMQ) des ovins et des caprins. Pour les ovins et les caprins, la ration contenant les feuilles de manguier a démontré un intérêt particulier, affichant les indices de consommation (IC) les

plus faibles et les valeurs de GMQ parmi les plus élevées (69 et 38 g/j pour les ovins et les caprins respectivement). La digestibilité apparente de la MS, évaluée autour de 74% pour toutes les rations chez les ovins, a indiqué une équivalence entre les rations ($p \geq 0,05$). Chez les caprins, aucune différence significative ($p \geq 0,05$) de digestibilité de la MS (environ 60%) n'a été observée entre les rations, bien que l'émission de CH_4 ait varié ($p \leq 0,05$), atteignant son maximum pour la ration contenant les feuilles de *M. indica* (manguier).

En somme, l'exploitation raisonnée des ressources alimentaires localement disponibles et accessibles favorise de bonnes performances chez les petits ruminants, tout en bénéficiant aux éleveurs et à l'environnement. Par ailleurs, il est important de former et d'accompagner les éleveurs de petits ruminants dans l'adoption de pratiques de gestion durable des ressources alimentaires.

Mots clés : Changement climatique, Stratégies d'adaptation, Pratiques alimentaires, Petits ruminants, Émissions de CH_4

Summary

In Benin, as in many other countries, the agricultural sector is heavily affected by the impacts of climate change. Simultaneously, population growth drives increased food consumption needs, elevating food security to a persistent major challenge. In this context, the livestock sector, particularly ruminants, must strive to reconcile evolving climatic and socio-territorial factors with enhanced animal productivity, in both quantity and quality. This study aims to provide a holistic analysis of feeding practices in traditional small ruminant farming systems. Several complementary research axes were explored, including: i) the description of perceptions and adaptation measures to climate change in livestock systems; ii) the characterization of feeding practices and resources used in these systems; iii) the investigation of animal feeding behavior concerning available resources; and iv) the evaluation of zootechnical performance and methane (CH₄) emission levels in small ruminants fed diets composed of locally available and accessible resources.

A semi-structured questionnaire was administered to 400 farms to collect data on the characteristics of production systems, farmers' perceptions of climate change impacts on livestock production, their adaptation strategies, and the feeding strategies and resources used for sheep and goats. These studies covered five agroecological zones (AEZ): Mékrou-Penjari (MK), South Borgou (SB), Atacora Chain (AC), Ouéme-Valley (OV), and Plateau (PL). Additionally, a preference feeding study was conducted on-station using various browse leaves to determine their impact on dry matter (DM) intake rates and digestibility (dDM) in Djallonké sheep diets. Finally, three experimental rations were formulated, wherein cottonseed meal was partially replaced with cassava peels (*M. esculenta*) or mango leaves (*M. indica*) to evaluate parameters such as feed intake, growth, in vivo DM digestibility, and CH₄ emissions. Frequency and mean statistics, accompanied by Chi-square and Kruskal-Wallis tests, were applied to the qualitative and quantitative survey data, respectively. Multiple correspondence analysis (MCA), followed by hierarchical cluster analysis (HCA), identified and characterized different feeding strategies. The nutritional quality of feed resources was assessed using near-infrared spectroscopy (NIRS). Analysis of variance (ANOVA) and Newman-Keuls tests compared the intake and digestibility levels of the experimental diets.

The results revealed that farmers perceive various manifestations of climate change, including delayed rainfall onset, drought periods, temperature fluctuations, and flooding, with significant differences among AEZs ($p \leq 0.05$). These changes have negatively impacted natural pasture biomass production and water availability. Current and future adaptation strategies of farmers varied significantly ($p < 0.05$) across AEZs, encompassing current measures like free animal

grazing, feed resource diversification, and dietary intensification, as well as future strategies such as exploring new feed resources and promoting forage cultivation. Factors such as gender, education level, primary occupation, and AEZ significantly influenced adaptation strategies.

Four feeding strategies (FS) were identified, with significant variations ($p \leq 0.05$) across AEZs: FS1) extensive goat and sheep farming reliant exclusively on natural pasture (13.7%); FS2) goat farming supplemented with agro-industrial by-products (32.8%); FS3) goat and sheep farming supplemented with agro-industrial by-products and crop residues (43%); and FS4) sheep farming supplemented only during the dry season (10.5%). Feed resources, including herbaceous and browse plants, agro-industrial by-products, and crop residues, varied significantly across AEZs ($p \leq 0.001$). These resources exhibited diverse nutritional values depending on the nutrient analyzed but generally showed good dry matter (DM) content, with notable variations in crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), and total fat (TF) contents. The feeding preference study revealed significant differences ($p \leq 0.05$) among browse species. *M. indica*, *B. sapida*, and *K. senegalensis* leaves were well ingested by animals ($p \leq 0.01$), with digestibility values exceeding 70% DM.

Experimental rations containing cassava peels or mango leaves showed positive effects on DM intake levels and average daily weight gain (ADG) in sheep and goats. For both species, the ration containing *M. indica* leaves (mango leaves) was particularly noteworthy, demonstrating the lowest feed consumption index (CI) and among the highest ADG values (69 and 38 g/day for sheep and goats, respectively). Apparent DM digestibility, averaging 74% for all rations in sheep, indicated equivalence among diets ($p \geq 0.05$). Among goats, no significant differences ($p \geq 0.05$) in DM digestibility (approximately 60%) were observed between rations, although CH₄ emissions varied ($p \leq 0.05$); peaking with the ration containing *M. indica* leaves (mango leaves).

In short, the judicious use of locally available and accessible feed resources enhances small ruminant performance while benefiting both farmers and the environment. Furthermore, it is important to train and support small ruminant farmers in adopting sustainable feed resource management practices.

Keywords: Climate change, Adaptation strategies, Feeding practices, Small ruminants, CH₄ emissions

Préambule général

Préambule général

Cette thèse se compose de neuf chapitres, incluant l'introduction générale et la conclusion générale.

Le Chapitre 1 présente l'introduction générale, dans laquelle sont détaillés le contexte de l'étude et la revue de littérature relative à l'élevage de petits ruminants, avec un accent particulier sur les systèmes d'alimentation des ovins et caprins en Afrique subsaharienne et au Bénin. Ce chapitre aborde également les enjeux liés au changement climatique et son impact sur ces systèmes d'élevage.

Le Chapitre 2 définit les objectifs et les hypothèses qui sous-tendent cette recherche, en précisant les attentes et les enjeux scientifiques de l'étude.

Le Chapitre 3 (Étude 1) décrit les perceptions des éleveurs et les stratégies d'adaptation alimentaire mises en place face aux effets du changement climatique dans cinq régions agroécologiques du Bénin. Cette étude compare les perceptions des éleveurs avec des données climatiques réelles (pluviométrie, température, humidité relative) afin de valider les perceptions recueillies. En outre, les facteurs influençant le choix des stratégies d'adaptation alimentaire sont identifiés. Les résultats issus de cette étude ont été publiés dans la revue scientifique *Heliyon*.

Le Chapitre 4 (Étude 2) dresse un inventaire des stratégies et des ressources alimentaires utilisées dans les élevages de petits ruminants (ovins et caprins) suivant les saisons de l'année, et évalue les valeurs nutritives de ces ressources. Un article scientifique est en chantier.

Le Chapitre 5 (Étude 3) étudie la préférence alimentaire et la digestibilité de diverses feuilles de ligneux utilisées dans les élevages de petits ruminants. Cette étude permet de mieux comprendre le comportement alimentaire des animaux vis-à-vis de ces ressources ligneuses, contribuant ainsi à leur gestion optimale par les éleveurs. Les résultats de cette étude ont été publiés dans la revue scientifique *Sustainability*.

Le Chapitre 6 (Étude 4) évalue les performances zootechniques et environnementales des ovins Djallonké nourris avec des rations composées de ressources alimentaires locales, disponibles et acceptées par les animaux. Un article scientifique est en chantier.

Le Chapitre 7 (Étude 5) reprend la même démarche que dans le Chapitre précédent, mais sur les caprins Djallonké. Cette étude quantifie également les émissions de CH₄ par des mesures directes sur les animaux. Un article scientifique est en phase de finalisation.

Le Chapitre 8 discute l'ensemble des résultats issus des cinq études précédentes. Il propose des analyses synthétiques et aborde les implications potentielles de ces résultats pour l'amélioration des connaissances et des capacités des éleveurs en matière de gestion durable de l'alimentation des petits ruminants. Ce chapitre inclut également des recommandations pour les politiques publiques et une critique de la méthodologie employée, en évaluant les limites de l'étude.

Le Chapitre 9 conclut la thèse en résumant les principaux résultats obtenus et en proposant des perspectives pour de futures recherches.

Introduction

Chapitre 1 : Introduction

La quête de stratégies durables pour l'alimentation des petits ruminants dans les régions soudano-sahélienne et guinéenne du Bénin s'inscrit dans un contexte agricole où se conjuguent défis écologiques, économiques, et socioculturels. En effet, les pratiques alimentaires actuelles sont souvent insoutenables, entraînant une dégradation des ressources naturelles et une vulnérabilité accrue face au changement climatique (Sinsin et al., 2018). Il devient impératif d'explorer des approches innovantes visant à optimiser l'alimentation de ces animaux tout en préservant les écosystèmes locaux. Ce chapitre se propose d'explorer plusieurs thématiques essentielles pour l'élaboration de stratégies alimentaires durables adaptées à ces régions. En partant du contexte général ouest-africain au cas spécifique du Bénin, cette introduction générale aborde :

- Le contexte de l'étude et la situation de l'élevage des petits ruminants, puis les systèmes d'élevage ;
- Les ressources et les pratiques d'alimentation, ainsi que les performances permises ;
- Les perceptions des éleveurs sur les manifestations du changement climatique et les stratégies développées par les éleveurs pour pallier ses effets négatifs ;
- Le rôle de l'élevage de petits ruminants dans le changement climatique, puis les méthodes de mesures des Gaz à Effet de Serre (GES), notamment le méthane (CH_4) chez les ruminants.

1 Contexte de l'étude

Les crises alimentaires en Afrique résultent d'une combinaison de chocs conjoncturels (économiques, climatiques, politiques) et de fragilités structurelles, avec notamment un manque de coordination efficace des actions des structures d'appui au secteur agricole. Pour garantir sa sécurité alimentaire, le continent africain doit impérativement accroître les productions et productivités agricoles selon des modalités durables. Cependant, la productivité de nombreuses cultures pluviales, ainsi que celle des élevages et de la pisciculture, demeurent en deçà des performances observées dans d'autres régions du monde bénéficiant de conditions pédoclimatiques similaires. Malgré cela, des progrès notables ont été enregistrés dans certaines régions, notamment en Afrique de l'Ouest (Blein et al., 2008).

Le Bénin, à l'image de ses voisins ouest-africains, poursuit activement l'objectif d'autosuffisance alimentaire, en particulier pour les produits animaux. Cela s'est traduit par une valorisation accrue des filières animales, contribuant en 2023 à 26,3 % de la valeur ajoutée agricole et à 14 % de la valeur ajoutée du secteur primaire (DSA, 2024a). Cependant, malgré

une croissance numérique des effectifs des principales espèces animales (9,3 % pour les bovins, 3,0 % pour les caprins, 2,9 % pour les ovins, 10,0 % pour les porcins et 8,0 % pour la volaille), les performances en termes de productivité restent limitées. En effet, ces niveaux de productivité ne couvrent qu'environ 40 % des besoins nationaux en produits animaux et seulement 37 % de la demande en viande (DSA, 2024a).

En termes de production, les bovins occupent une place centrale, représentant 39,8% de la production totale de viande, soit 108 034 tonnes en 2023. Les petits ruminants (ovins et caprins) sont également des ressources importantes, produisant respectivement 12 865 tonnes et 14 799 tonnes de viande, tandis que les porcins et les volailles traditionnelles en ont généré 11 630 et 9 859 tonnes (DSA, 2024a). Au-delà de ces chiffres, les petits ruminants possèdent une valeur particulière pour les petits éleveurs en raison de leur faible coût de production, de leur cycle de reproduction court et de leur valorisation rapide sur le marché (Alary et al., 2011). En 2023, le cheptel béninois de petits ruminants comptait environ 3 730 000 caprins et 2 573 000 ovins, présents sur tout le territoire, mais avec une concentration plus marquée dans les régions septentrionales (DSA, 2024a).

Les petits ruminants constituent un moyen de subsistance essentiel pour les populations rurales. Ils fournissent des ressources matérielles (lait, viande, fibres, fumier, épargne). En outre, ils jouent un rôle social et culturel important, notamment dans les rites religieux et les cérémonies de baptême et de mariage (Alexandre et al., 2012 ; Elagovan, 2012 ; McMillin et al., 2012).

Cependant, le développement des élevages de petits ruminants reste confronté à plusieurs contraintes majeures. Dossa et al. (2008) ont identifié les quatre principaux défis : l'alimentation, la santé, la reproduction et la commercialisation. Dans les systèmes d'élevage traditionnels, qui dominent au Bénin, les petits ruminants dépendent des pâturages naturels (Dahouda et al., 2019 ; Houessou et al., 2021 ; Zanou et al., 2022). Or, la disponibilité et la qualité des ressources fourragères varient selon les saisons, influencées par les régimes pluviométriques et les périodes de sécheresse (Savadogo et al., 2009 ; Djenontin, 2010), ainsi que par la nature des sols et la topographie (Toko et al., 2011).

Depuis les années 1960, le Bénin subit des perturbations climatiques importantes, se traduisant par une réduction des précipitations annuelles moyennes et une augmentation de la température de l'ordre de 0,5 à 1°C au nord du pays (Ogouwalé, 2006 ; Boko et al., 2012 ; Boko et al., 2014 ; Hountondji et al., 2011 ; Badou et al., 2021 ; Sagna et al., 2021). Ces changements climatiques affectent la disponibilité et la qualité des ressources alimentaires

pour les animaux (Djenontin, 2010 ; Koura et al., 2015 ; Idrissou et al., 2020), réduisant leur productivité (Rowlinson, 2008).

Les petits ruminants subissent certes les effets du changement climatique, mais participent également aux émissions de gaz à effet de serre (GES) par la production de CH_4 . Plus de 87% des émissions de CH_4 des petits ruminants proviennent du rumen, où les archaea méthanogènes transforment le dihydrogène (H_2) et le dioxyde de carbone (CO_2) en CH_4 (Martin et al., 2010 ; Morgavi et al., 2010). Bien que le CO_2 soit plus abondant dans l'atmosphère, le CH_4 a un potentiel de réchauffement global 28 fois supérieur à celui du CO_2 sur une période de 100 ans (IPCC, 2014). Les systèmes pastoraux d'Afrique subsaharienne se caractérisent par des émissions élevées de GES par unité de produit animal, principalement en raison des faibles productivités animales et des régimes alimentaires fibreux qui sont plus méthanogènes (Assouma, 2016 ; Seketeme et al., 2022). Cependant, bien exploitées, d'autres ressources alimentaires des petits ruminants, que sont les feuilles de ligneux et les sous-produits agroindustriels, renferment les tanins et les saponines, connus depuis plusieurs années pour leur capacité à inhiber la production de CH_4 entérique chez les ruminants (Doreau et al., 2011 ; Popova et al., 2011). Cependant, leur impact sur les protozoaires ruminiaux reste controversé. Certaines études rapportent une absence d'effet sur le nombre de ciliés (Newbold et al., 2004), tandis que d'autres signalent une réduction significative de cette population (Hristov et al., 2003). L'effet des saponines sur les archaea méthanogènes, étudié *in vitro*, varie en fonction de la structure moléculaire des saponines utilisées (Newbold et al., 2004).

Face à ces défis, il est crucial d'améliorer les performances des petits ruminants par des stratégies d'alimentation qui réduisent les coûts de production tout en minimisant l'impact environnemental, notamment les émissions de CH_4 . Toutefois, au Bénin, peu d'études se sont intéressées aux effets des changements climatiques sur les systèmes d'élevage traditionnels de ruminants (Dimon et al., 2022). Les travaux de Kouazoundé et al., (2014) ont mesuré la production de CH_4 par la fermentation entérique chez les races bovines. Les données sur les niveaux d'émission de GES en lien avec les ressources alimentaires locales font défaut. En outre, la compréhension des perceptions et des stratégies d'adaptation des éleveurs face aux variabilités climatiques est essentielle pour renforcer la résilience des systèmes de production.

Toutes ces données permettraient d'appuyer le plan stratégique 2017-2030 de développement agricole (MAEP, 2017) initié par le gouvernement béninois en 2017 et visant à renforcer l'offre nationale en produits animaux, en s'appuyant notamment sur les espèces à cycle court comme les petits ruminants. Ce plan national s'inscrit dans la dynamique des Objectifs de Développement Durable (ODD) fixés par l'Organisation des Nations Unies, en particulier le deuxième objectif visant à éradiquer la pauvreté et la faim.

2 Quelques chiffres sur l'élevage de petits ruminants en Afrique de l'Ouest, et au Bénin en particulier

L'élevage représente la première ressource renouvelable (car le stock peut se reconstituer sur une période courte à l'échelle humaine de temps), et l'une des principales activités économiques en Afrique de l'Ouest (Koutou et al., 2016). Selon les dernières estimations de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), cette région abrite un cheptel d'environ 414 millions de ruminants, dont 85 150 000 bovins (soit 21%), 194 800 000 caprins (47%) et 133 425 000 ovins (32%) (FAOSTAT, 2022). L'élevage des petits ruminants connaît une dynamique croissante, notamment en raison de son rôle central dans la génération d'emplois et de revenus pour les populations rurales.

Au Mali, par exemple, l'effectif des petits ruminants a été estimé à environ 48 millions de têtes en 2022, répartis entre 27 833 000 caprins et 20 159 000 ovins (FAOSTAT, 2024). L'élevage des petits ruminants pourrait jouer un rôle encore plus important dans la couverture des besoins nationaux en lait, viande et revenus, à condition de mieux maîtriser les techniques d'élevage, comme le suggèrent Nantoumé et al. (2011). De même, au Burkina Faso, l'élevage est la deuxième activité économique après l'agriculture, représentant environ 30% de la population active et contribuant à hauteur de près de 12% à la formation de la valeur ajoutée nationale. Le cheptel de petits ruminants y est estimé à près de 28 millions de têtes, dont 16 347 000 caprins et 11 261 000 ovins (Tensaba et al., 2022 ; FAOSTAT, 2024). Au Togo, l'élevage de petits ruminants, constitué de 30 % d'ovins et de 70 % de caprins, comptait en 2022 plus de 7 millions de têtes (5 454 000 caprins et 1 992 000 ovins) (FAOSTAT, 2024). En Côte d'Ivoire, le cheptel de petits ruminants dépassait les 6 millions de têtes, répartis entre 3 805 000 caprins et 2 272 000 ovins.

Au Bénin, en 2022, le cheptel de petits ruminants était estimé à plus de 6 millions de têtes, avec une prédominance de caprins (60%) par rapport aux ovins (40%), soit respectivement 3 620 000 caprins et 2 501 000 ovins (DSA, 2024a ; FAOSTAT, 2024). Ce secteur est largement répandu sur l'ensemble du territoire béninois, avec plus de 90% des agro-éleveurs de toutes ethnies possédant des ovins et/ou caprins (Aplogan, 2013 ; Zanou et al., 2022). Sur le plan économique, l'élevage et la chasse occupent la deuxième position après l'agriculture, représentant une part significative de la valeur ajoutée du secteur primaire béninois. Entre 2019 et 2023, la part moyenne de l'élevage et de la chasse dans cette valeur ajoutée était de 13%. En 2023, cette valeur a atteint 388 milliards de FCFA (591 millions d'euros), contre 360,5 milliards de FCFA (549 millions d'euros) en 2022, soit une progression de 7,6% (DSA, 2024b). Ces chiffres illustrent l'importance croissante de l'élevage dans l'économie béninoise, non seulement en termes de production mais aussi en tant que levier stratégique pour le

développement rural (DSA, 2024b). Les figures 1 et 2 montrent respectivement la contribution des différents secteurs d'activité au produit intérieur brut (PIB), et celui de l'élevage dans le PIB agricole.

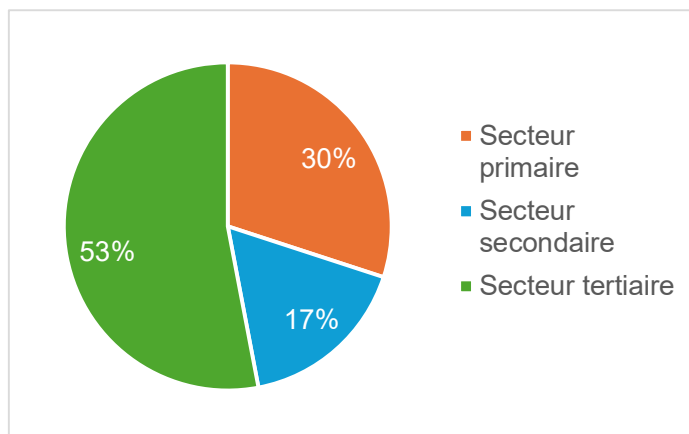


Figure 1 : Part des secteurs d'activité dans le PIB du Bénin (DSA, 2024a)

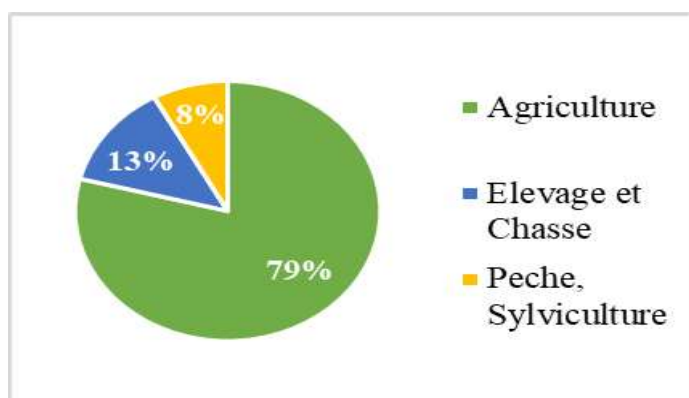


Figure 2 : Contribution de l'élevage au PIB agricole (DSA, 2024a)

3 Principales espèces de petits ruminants représentées en Afrique de l'Ouest et au Bénin

L'Afrique de l'Ouest, caractérisée par une diversité écologique et climatique, abrite une large variété de races de petits ruminants adaptées aux conditions locales. Deux types principaux de chèvres dominent la région, chacun étant spécifiquement adapté à son environnement (Doutressoulle, 1947 ; Rege et al., 1996 ; Chenyambuga et al., 2004 ;

Missohou et al., 2016). D'une part, on trouve les chèvres de savane ou du Sahel, caractéristiques de la ceinture sahélienne au sud du Sahara, qui s'étend du lac Tchad jusqu'au Sénégal. Ces chèvres, de taille plus grande et à longues pattes, sont moins résistantes à la trypanosomiase et prospèrent dans des zones exemptes de mouches tsé-tsé. D'autre part, dans les zones humides, du sud du Sénégal au Nigéria, on rencontre les chèvres naines, particulièrement tolérantes à la trypanosomiase (Missohou et al., 2006). Une étude sur la diversité et les relations génétiques des races de chèvres d'Afrique de l'Ouest a révélé que les chèvres naines ou Djallonké, sont morphologiquement et génétiquement distinctes des autres races (Maradi, Djollof, Gorgol, Guera, et Maure), plus apparentées (Missohou et al., 2006).

En parallèle, les ressources génétiques ovines de la région ont été classées en deux grands groupes : les moutons à queue grasse et ceux à queue fine. Les moutons à queue grasse, présents principalement en Afrique du Nord (de l'Égypte à l'Algérie) et en Afrique de l'Est et du Sud (de l'Érythrée à l'Afrique du Sud), sont largement répandus, tandis que les moutons à queue fine se rencontrent davantage au Maroc, au Soudan et en Afrique de l'Ouest, notamment en Guinée, au Mali, au Niger, au Nigeria, au Togo, au Burkina Faso, au Bénin et en Afrique centrale (Muigai et al., 2013). Au Bénin, deux races prédominent tant chez les ovins que chez les caprins : la race Djallonké, largement représentée, et la race du Sahel (Aplogan, 2013 ; Behingan et al., 2022 ; Whannou et al., 2022 ; 2023). En outre, on observe, pour chacune de ces espèces, des animaux issus de croisements entre ces deux races principales à divers niveaux (Guinguain, 2017 ; Whannou et al., 2022 ; 2023).

3.1 Description des principales races ovines

Les travaux de Whannou et al., (2021) ont mis en évidence une variation morphologique spatiale des ovins béninois le long d'un gradient phytogéographique sud-nord. Ces auteurs ont distingué quatre sous-populations de moutons, dont deux principales. Dans la zone de Mékrou-Penjari, située dans la zone phytogéographique la plus sèche du Nord, les animaux se distinguaient par des valeurs élevées pour des critères morphométriques, à savoir la hauteur du garrot ($68,3 \pm 0,47$ cm), la hauteur du sternum ($46,0 \pm 0,35$ cm), et la hauteur de la croupe ($68,8 \pm 0,47$ cm). En revanche, dans la zone de Pobè, située plus au Sud, les valeurs étaient significativement plus faibles ($49,2 \pm 0,34$ cm, $25,9 \pm 0,26$ cm, et $52,0 \pm 0,35$ cm respectivement). Ces résultats sont comparables à ceux de Molina-Flores et al., (2020) concernant la distribution géographique des populations ovines.

Le mouton Djallonké est une race de petite taille (Figure 3), mesurant généralement entre 40 et 60 cm au garrot. Son profil est rectiligne, avec un front plat et des oreilles courtes et légèrement tombantes. Les cornes du bélier, qui sont généralement absentes chez la brebis,

sont de taille moyenne, prismatiques et s'enroulent en spirale d'arrière en avant. Le dimorphisme sexuel est marqué. La robe est principalement blanche, avec des taches noires parfois présentes sur la tête et l'encolure. Les ovins Djallonké sont particulièrement adaptés aux climats humides en raison de leur tolérance à la trypanosomiase (Gbangboché, 2005 ; Adjibodé et al., 2016). Les béliers présentent une crinière et un camail qui s'étend de l'encolure au garrot (Adjibodé et al., 2016 ; Whannou et al., 2021). Cette race est principalement élevée pour la viande, avec un poids vif oscillant entre 20 et 30 kg et un rendement en carcasse variant de 46 % à 51 % (Djenontin et al., 2017).

La présence du mouton du Sahel au Bénin (Figure 4), notamment dans le Nord du pays, est attribuée à l'expansion de la transhumance, au commerce de bétail, ainsi qu'à la préférence des éleveurs pour des animaux de plus grande taille (Gbangboché, 2005 ; Whannou et al., 2021 ; Zanou et al., 2022). Les races d'ovins du Sahel rencontrées au Bénin incluent notamment les Peul, Bali-Bali, Maure, Fulani et Touareg, originaires des régions sèches d'Afrique de l'Ouest, telles que la Mauritanie, le Mali, le Niger et le Tchad (Muigai et al., 2013). Comparés aux ovins Djallonké, les ovins du Sahel sont plus sensibles à l'humidité, à la trypanosomiase et aux infestations de tiques (Touré, 1977 ; Gbangboché, 2005). Ces animaux, de grande taille, se caractérisent par une croissance rapide, un dos droit et des pattes longues (Whannou et al., 2021). La taille moyenne varie entre 65 cm et 75 cm pour les brebis, et entre 70 cm et 90 cm pour les béliers, avec un poids allant de 30 kg à 80 kg selon la race et le sexe. Leur tête est de taille moyenne avec un museau fin, et les cornes des béliers sont robustes et en spirale. Selon la race, ces ovins peuvent être élevés pour la viande (notamment les Peuls et les Maures) ou pour le lait (comme les Touareg) (Gbangboché, 2005).



Figure 3 : Brebis Djallonké (© E. Gninkplékpo)



Figure 4 : Troupeau de mouton Sahélien au pâturage (© E. Gninkplékpo)

3.2 Description des principales races caprines

Les deux principaux groupes caprins présents en Afrique de l'Ouest, à savoir le caprin nain ou Djallonké et le caprin du Sahel (Missohou et al., 2016), sont retrouvés au Bénin (Behingan et al., 2022 ; Whannou et al., 2023). La répartition de ces groupes au sein du pays suit un gradient écologique marqué allant du Sud au Nord, reflétant des adaptations morphologiques spécifiques. Ainsi, les caprins des régions septentrionales présentent des valeurs supérieures en termes de hauteur au garrot, hauteur du sternum et hauteur de la croupe, respectivement mesurées à $49,8 \pm 0,24$, $30,7 \pm 0,18$ et $50,5 \pm 0,25$ cm. En comparaison, les caprins localisés dans le Sud affichent des mesures réduites avec des valeurs moyennes de $40,1 \pm 0,10$, $23,1 \pm 0,11$ et $42,6 \pm 0,09$ cm (Behingan et al., 2022 ; Whannou et al., 2022).

Le caprin Djallonké (Figure 5), peut vivre dans des zones humides et se distingue par sa capacité à tolérer la trypanosomose, ce qui lui permet de survivre dans des environnements infestés de glossines (Richard et al., 2019). Ce petit ruminant présente une hauteur au garrot comprise entre 40 et 50 cm et un poids adulte oscillant entre 18 et 20 kg. Sa morphologie est caractérisée par un profil de tête rectiligne ou légèrement concave, un corps trapu avec des membres courts et musclés, et un pelage ras. La robe est souvent unie ou pie, plus rarement tricolore, et les couleurs dominantes incluent le brun, le pie brun, le pie noir, le blanc, le gris ou le noir, et une raie dorsale noire est fréquemment observée. Par ailleurs, les oreilles du

Djallonké sont portées horizontalement, les cornes sont peu développées, et les pendeloques sont absentes (Doutressoulle, 1947 ; Missohou et al., 2016).

En revanche, le caprin du Sahel (Figure 6), localisé majoritairement dans les zones arides du Nord, est de grand format et se distinguent par leur sensibilité à la trypanosomose (Behingan et al., 2022 ; Whannou et al., 2022). Cet animal présente un corps allongé, un profil de tête convexe ou parfois rectiligne, et des membres longs et fins. Son pelage ras est majoritairement pie, bien que des robes unies ou tricolores soient également rencontrées. Les couleurs les plus fréquentes incluent le pie brun, le pie rouge, le pie noir, le blanc et le noir. Les cornes sont fortement développées, les oreilles longues et pendantes, et des pendeloques sont souvent présentes (Whannou et al., 2022).



Figure 5 : Chèvre Djallonké et son chevreau (© E. Gninkplékpo)



Figure 6 : Chèvres Sahélien au pâturage (© E. Gninkplékpo)

3.3 Systèmes d'élevage des petits ruminants en Afrique de l'Ouest et au Bénin

La définition des systèmes d'élevage a fait l'objet de plusieurs formulations, parmi lesquelles celle de Lhoste (1984), enrichie par Landais (1994), demeure une référence. Ces auteurs décrivent le système d'élevage comme un ensemble dynamique d'éléments en interaction, organisé par l'homme pour valoriser des ressources à travers l'exploitation des animaux domestiques, dans le but d'obtenir des productions variées ou de répondre à d'autres objectifs spécifiques.

Selon Wilson (1986 ; 1988), les systèmes d'élevage de petits ruminants se répartissent en deux grandes catégories : **les systèmes modernes** (caractérisés par des besoins élevés en capitaux) et **les systèmes traditionnels** (reposant principalement sur la disponibilité en terres et en main-d'œuvre). Les systèmes modernes incluent notamment les élevages périurbains (implantés en milieu urbain ou à sa périphérie), ainsi que ceux pratiqués dans des stations expérimentales, des centres de recherche ou des universités (Dossa et al., 2015 ; Koura et al., 2024). Quant aux systèmes traditionnels, qui prédominent en Afrique de l'Ouest, ils se déclinent en trois sous-catégories : **les systèmes pastoraux, agropastoraux, et sédentaires** (Missohou et al., 2016). Ce classement repose sur des critères tels que la zone de production, la contribution des activités d'élevage ou de production végétale aux revenus des ménages, le mode d'organisation des unités d'élevage, la valorisation des ressources environnementales, ainsi que le degré d'intégration entre productions animale et végétale.

3.3.1 Système pastoral

Le système pastoral (Figure 7) prédomine dans les zones arides et semi-arides, comme dans le Nord du Bénin où l'élevage de petits ruminants contribue à plus de 50% des revenus totaux des ménages ou à plus de 20% de leur apport énergétique alimentaire (Wilson, 1986). Les troupeaux sont généralement bispécifiques, associant ovins et caprins (Provost et al., 1980 ; Missohou et al., 2016). La conduite des animaux repose principalement sur le pâturage, complété par des apports alimentaires tels que feuillages d'arbustes, paille de brousse et résidus de cultures (Dahouda et al., 2019 ; Houessou et al., 2021 ; Zanou et al., 2022). L'approvisionnement en eau, provenant de mares, puits ou forages, constitue un défi majeur pendant la saison sèche. Les abris, souvent rudimentaires (paille, bois), témoignent des conditions précaires dans lesquelles les animaux sont maintenus (Zanou et al., 2022).



Figure 7 : Illustrations du système d'élevage pastoral (© E. Gninkplékpo)

3.3.2 Système agropastoral

Le système agropastoral combine élevage et agriculture, partageant ainsi la contribution aux revenus des ménages entre ces deux activités (Figure 8). Ce système est principalement rencontré dans les zones agroécologiques semi-arides et subhumides (Wilson, 1986), comme dans le Centre du Bénin. Les troupeaux, souvent de petite taille, demeurent généralement bispécifiques (Missohou et al., 2016). En saison sèche, les animaux errent librement pour exploiter les parcours naturels et les résidus de cultures. Pendant la saison pluvieuse, ils sont soit en stabulation permanente, mis au piquet ou conduits en divagation surveillée (Houessou et al., 2021 ; Zanou et al., 2022). Une complémentation alimentaire est parfois apportée, incluant résidus de cultures, sous-produits agroindustriels ou restes de cuisine, bien que les quantités restent souvent limitées (Montcho et al., 2016 ; Kouato et al., 2021). Les abris pour animaux sont construits avec des matériaux précaires tels que paille, tôle ou bois (Dahouda et al., 2019 ; Zanou et al., 2022). L'accès aux soins vétérinaires demeure marginal (Ly et al., 2010 ; Tchetan et al., 2021), et la reproduction des animaux n'est généralement pas contrôlée (Zanou et al., 2022).



Figure 8 : Illustrations du système agropastoral (© E. Gninkplékpo)

3.3.3 Système sédentaire

Dans ce système (Figure 9), les activités agricoles, principalement axées sur les cultures vivrières ou de rente, surpassent celles de l'élevage, qui contribuent à moins de 10% des revenus des ménages. Ce système est typique des zones agroécologiques humides (Missohou et al., 2016), comme dans le Sud du Bénin. En saison sèche, les animaux divaguent librement au sein ou sans trop s'éloigner du terroir villageois, tandis qu'en saison pluvieuse, ils sont confinés pour éviter les dégâts dans les champs cultivés (Missohou et al., 2016 ; Zanou et al., 2022). Au retour de divagation, les animaux sont parqués la nuit dans une partie de la chambre de l'éleveur ou attachés au piquet en bois, soit dans des bergeries souvent construites en matériaux précaires (bois, paille), parfois semi-définitifs (bois, tôle), et rarement définitifs (brique, tôle). Les sous-produits agricoles tels que son de maïs ou de riz, épluchures de manioc, igname ou banane plantain, sont plus disponibles que dans les systèmes pastoraux et agropastoraux, mais leur distribution reste peu rationnelle (Missohou et al., 2016 ; Montcho et al., 2016). Malgré une pluviométrie abondante, les animaux souffrent de pénurie d'eau dès l'assèchement des marigots (Provost et al., 1980).



Figure 9 : Illustration du système d'élevage sédentaire (© Gninkplékpo)

4 Ressources d'alimentation des petits ruminants en Afrique de l'Ouest et au Bénin

L'alimentation constitue l'une des composantes les plus déterminantes des charges opérationnelles en élevage, représentant jusqu'à 70% du coût total de production animale (Phocas et al., 2014). Les rations alimentaires des ruminants reposent principalement sur les fourrages, composés des parties végétatives aériennes des plantes (Guerin et al., 2004 ; Lesse et al., 2016). Outre les ressources issues des pâturages naturels (herbacées et ligneux), les résidus de récolte, les sous-produits agro-industriels et, dans certains cas, les restes de cuisine sont également utilisés pour compléter les apports alimentaires (Montcho et al., 2016 ; Houessou et al., 2021 ; Amole et al., 2022 ; Zanou et al., 2022).

4.1 Ressources fourragères

Elles comprennent les plantes herbacées que sont les graminées, les légumineuses, et les ligneux fourragers.

4.1.1 Graminées

Les graminées (Figures 10 et 11), appartenant à la famille des Poaceae, jouent un rôle central dans l'alimentation des ruminants. Ces plantes se caractérisent par des feuilles en ruban, des tiges creuses et des grains disposés en épis ou en grappes (Klein et al., 2014). Dans les systèmes agropastoraux de l'Afrique subsaharienne, en particulier au Bénin, les petits ruminants accèdent librement aux pâturages naturels riches en graminées grâce à la divagation (Amole et al., 2022). Parmi les espèces fréquemment rencontrées figurent *Andropogon gayanus*, *Eleusine indica*, *Brachiaria falcifera*, *Pennisetum polystachion*, *Hyparrhenia involucrata* et *Panicum maximum* (Lesse et al., 2016 ; Zinsalo et al., 2017 ; Badarou et al., 2020 ; Djohy et al., 2022).



Figure 10 : *Panicum maximum* C1
(© E. Gninkplékpo)



Figure 11 : *Brachiaria ruziziensis*
(©E. Gninkplékpo)

4.1.2 Légumineuses

Les légumineuses fourragères (Figures 12 et 13), améliorent significativement la valeur nutritive des rations des ruminants. Les animaux qui ne consomment que les graminées ont des difficultés à extérioriser leurs potentialités de production (Miégoué et al., 2016), et l'une des solutions la plus facilement réalisable est l'utilisation des légumineuses fourragères (Miégoué et al., 2016). Ces plantes augmentent la teneur en protéines des rations, particulièrement lorsque les animaux se nourrissent de pâturages naturels, et prolongent la disponibilité des fourrages durant la saison sèche (Dimon et al., 2018 ; Soumana et al., 2024). L'utilisation des légumineuses, telles que *Aeschynomene histrix*, *Mucuna pruriens*, *Stylosanthes fructicosa*, *Pueraria phaseoloides*, et *Lablab purpureus*, peut également réduire les coûts de production dans les élevages (Nkana et al., 2020 ; Dimon et al., 2018).



Figure 12 : *Aeschynomene histrix*
(© E. Gninkplékpo)



Figure 13 : *Centrosema pubescens*
(© E. Gninkplékpo)

4.1.3 Ligneux fourragers

Les arbres et arbustes (Figures 14 et 15), regroupés sous le terme "ligneux fourragers", sont essentiels pour pallier le déficit alimentaire, en particulier en saison sèche (Sèwadé et al., 2016 ; Sidi Imorou et al., 2016 ; Koura et al., 2021). Ils renforcent l'autonomie alimentaire dans les élevages (Klein et al., 2014) . Ces ligneux se distinguent par leur richesse en protéines et leur disponibilité même en périodes critiques de sécheresse (Babatounde et al., 2011 ; Nantoumé et al., 2011 ; Sidi Imorou et al., 2016 ; Dione et al., 2022 ; Koura et al., 2021). Parmi les espèces fréquemment utilisées figurent *Acacia sieberiana*, *Azelia africana*, *K. senegalensis*, et *M. indica* (Sidi Imorou et al., 2016 ; Sèwadé et al., 2016 ; Koura et al., 2021). Toutefois, certaines espèces contiennent des substances antinutritionnelles (tannins, saponines, minosines) qui limitent leur utilisation optimale (Njida et al., 2012).



Figure 14 : Arbre de *Pterocarpus eurinaceus*
(© E. Gninkplékpo)



Figure 15 : Arbuste de *Gliricidia sepium*
(© E. Gninkplékpo)

4.1.4 Résidus et sous-produits de culture

Les résidus de culture (Figures 16 et 17), tels que les fanes (arachide, pois, haricot), les pailles (maïs, sorgho, riz, millet) et les tubercules, constituent une ressource alimentaire précieuse pour les petits ruminants (Montcho et al., 2016 ; Lawal et al., 2017 ; Diogo et al., 2018). Ces résidus, souvent utilisés en période de soudure, permettent de constituer des rations équilibrées, en particulier dans les systèmes de stabulation permanente ou partielle (Lawal et al., 2017 ; Gouro et al., 2014). A l'exception des pailles, ils peuvent contribuer à apporter de l'azote dans le cas des fanes de légumineuses ou de l'énergie dans le cas des tubercules (Montcho et al., 2016). Leur disponibilité dépend de la nature et de l'intensité de l'activité agricole dans la zone (Diogo et al., 2018). Malgré les variations selon les pays et à l'intérieur de ceux-ci, les disponibilités en résidus de céréales ont connu une forte progression au cours de la dernière décennie (Gouro et al., 2014). Cependant, leur utilisation est limitée par des contraintes telles que la collecte, le transport, le stockage et les variations saisonnières de disponibilité (Gouro et al., 2014 ; Diogo et al., 2018).



Figure 16 : Paille de maïs
(© Google image, en libre accès et consulté le 10/11/24)



Figure 17 : fanes d'arachide
(© Google image, en libre accès et consulté le 10/11/24)

4.1.5 Sous-produits agro-industriels

Les sous-produits agro-industriels (Figures 18 et 19), dérivés de la transformation des matières premières agricoles, sont caractérisés par leur richesse en énergie et en azote, avec une teneur plus faible en fibres par rapport aux fourrages (Aboh et al., 2008 ; Montcho et al., 2016). Parmi ces sous-produits figurent : les sous-produits d'huilerie (tourteaux de coton, d'arachide, de soja), les sous-produits de meunerie (sons, issues, farines basses), les sous-produits sucriers et brassicoles (mélasse, drêches, bagasses). Bien qu'efficaces pour

compléter les rations de base, leur disponibilité et leur accessibilité dépendent de la production agricole locale, de la pression de la demande, et du prix d'achat (Deffo et al., 2009 ; Montcho et al., 2018). En outre, certains sous-produits présentent des contraintes spécifiques, telles que la présence de gossypol dans les sous-produits du coton, d'antitrypsine dans ceux du soja, ou de composés cyanogènes dans ceux du manioc (Mirzaei-Aghsaghali et al., 2008 ; Yusuf et al., 2017).



Figure 18 : Épluchures de manioc
(© E. Gninkplékpo)



Figure 19 : Drèche de sorgho
(© E. Gninkplékpo)

4.2 Potentiel nutritif des ressources d'alimentation des petits ruminants

4.2.1 Ressources fourragères

Les recherches sur les valeurs nutritives des ressources fourragères destinées à l'alimentation des petits ruminants montrent une variabilité notable en termes de composition nutritionnelle. Babatounde et al. (2011), Sidi Imorou et al. (2016), et Badarou et al. (2020) rapportent des variations significatives dans les teneurs en énergie et en protéines des fourrages herbacés et des feuilles de ligneux. Musco et al. (2016) observent que les graminées du Bénin se caractérisent par une teneur moyenne élevée en NDF (63 %), une faible densité énergétique (8,07 MJ/kg MS) et une proportion modérée de protéines brutes (16,1 %), en comparaison aux légumineuses. Ces résultats sont corroborés par Koura et al. (2022), qui notent une faible teneur en protéines des graminées (4,6-8,4 %) et leur richesse en NDF.

En ce qui concerne les légumineuses herbacées, Dimon et al. (2018) indiquent que les fourrages présentent une fourchette de valeurs comprises entre 28-94 % pour la MS, et dans la MS, 82-96 % de MO, 12-29 % de PB et 0,6-0,9 UF. Les feuilles de ligneux, comme celles de *Moringa oleifera*, sont reconnues pour leur teneur protéique élevée, atteignant jusqu'à 30 % de la MS (Babatounde et al., 2011 ; Koura et al., 2021), avec des valeurs énergétiques nettes moyennes de 0,59 UFL et 0,48 UFV/kg MS ingérée (Sidi Imorou et al., 2016).

La digestibilité varie selon le type de fourrage et son stade de récolte. Babatounde et al. (2011) rapportent des valeurs de digestibilité de la matière sèche et organique allant de 24 à 82 % pour les herbacées, les plus élevées (>70 %) étant attribuées à des espèces comme *Andropogon gayanus*, *Panicum maximum* et *Stylosanthes hamata*, tandis que des valeurs plus faibles (<30 %) sont observées chez *Setaria barbata*. Concernant les ligneux, les valeurs de digestibilité se situent entre 26-83 %, avec des maximas pour *Chromolaena odorata* et *Vitex doniana*, et des minimas liés à la présence de tanins ou de composés phénoliques dans des espèces telles que *Spondias mombin* et *Moringa oleifera*. Koura et al. (2021) rapportent également une variabilité régionale dans les teneurs en tanins des ligneux, allant de 0-6 % dans la zone soudano-guinéenne à 0-8 % dans la zone guinéo-congolaise, avec des digestibilités comprises entre 13-70,7 %.

4.2.2 Sous-produits agro-industriels et les résidus de culture

De nombreuses études ont exploré les valeurs nutritionnelles des sous-produits agroindustriels et des résidus de récolte utilisés dans l'alimentation des petits ruminants en Afrique subsaharienne, notamment au Bénin. Ces sous-produits peuvent être riches en énergie, en protéines, ou en ces deux nutriments (Amole et al., 2022). Parmi les ressources étudiées figurent les spathes de maïs, les fanes d'arachide, les coques de niébé, la farine de manioc, les épluchures (de manioc et de patate douce), les sons (de maïs, de mil et de riz), ainsi que divers dérivés de l'ananas (couronnes entières, lamelles de couronne et pelures) et les tourteaux (de soja, de palmiste, d'arachide et de coton) (Toléba et al., 2009 ; Koura et al., 2016 ; Montcho et al., 2016). Comme les fourrages, les compositions nutritionnelles de ces sous-produits et résidus varient selon la ressource et la région géographique.

Les sous-produits de céréales sont diversement pourvus en énergie (0,38 à 1,03 UFV ou 0,26 à 0,96 UFL), et présentent également des teneurs notables en protéines brutes (19,5 % pour la drêche de sorgho, 17,1 % pour le son de riz et 14,8 % pour le son de maïs) (Mosimanyana et al., 2006 ; Montcho et al., 2016 ; Onaleye et al., 2020). Par ailleurs, les tourteaux, tels que ceux d'arachide (54,3 %), de coton (33 %) et de soja (31 %), sont particulièrement riches en matières azotées et offrent des valeurs énergétiques acceptables (Toléba et al., 2009 ; Montcho et al., 2016). De manière similaire, les sous-produits de racines et tubercules, comme les épluchures de manioc, de patate douce et d'igname, se distinguent par une bonne teneur énergétique. Les tourteaux, caractérisés par une faible teneur en constituants pariétaux, ainsi que les sous-produits de racines et tubercules, présentent une meilleure digestibilité ($\geq 60\%$) que les sous-produits de céréales (Mosimanyana et al., 2006 ; Montcho et al., 2016 ; Onaleye et al., 2020). Une comparaison entre les fanes de légumineuses (niébé et arachide) et les résidus de céréales (pailles de maïs et de sorgho) a montré que ces derniers avaient des

niveaux inférieurs d'énergie (5,86 contre 10,89 MJ/kg MS) et de protéines brutes (4,16 % contre 11,77 % MS). En revanche, leur teneur en parois cellulaires était plus élevée (NDF : 84,98% contre 56,12% MS) (Koura et al., 2016). La digestibilité des résidus de céréales, exprimée par leur dégradabilité de la matière organique (55,4 - 57,5 %), reste inférieure à celle des fanes de légumineuses (53,2 - 89,6%) (Koura et al., 2016). En raison de leur faible teneur en protéines (2,0 à 4,7 % MS), en minéraux essentiels et en vitamines, ainsi que leur digestibilité limitée (moins de 55% en moyenne), ces résidus sont peu adaptés comme aliment unique pour les ruminants. Cependant, des techniques d'enrichissement, comme le traitement à l'urée ou à d'autres composés chimiques, permettent d'améliorer leur valeur azotée (Koralagama et al., 2008 ; Koura et al., 2016).

4.3 Quelques données de performances zootechniques des petits ruminants nourris avec les différentes ressources d'alimentation

4.3.1 Ressources fourragères

Les fourrages, notamment les graminées, les légumineuses et les ligneux, jouent un rôle clé dans l'alimentation des petits ruminants. Eyoh et al. (2019) ont rapporté des ingestions alimentaires variant de 345 à 634 g de MS/j et des GMQ compris entre 13,5 et 21,8 g/j chez des chèvres Djallonké nourries avec des rations à base de *Panicum maximum*. Oyewole et al. (2019) ont également observé de bonnes performances chez des caprins recevant une ration mixte *Panicum maximum-Stylosanthes hamata*, riche en PB (17,3%), avec des ingestions de 458 g de MS/j et 76,7 g de PB/j, et un gain de poids total de 3,82 kg. De plus, Oluwagbemi et al. (2020) ont obtenu des gains de poids entre 7,4 et 7,6 kg et des GMQ variant de 15,6 à 30 g/j chez des chèvres alimentées avec les feuilles d'*Albizia zygia* et de *Parkia biglobosa*.

Ahmed et al. (2022) ont enregistré des ingestions respectives de 696, 700, 719 et 716 gMS/j pour des rations à base de *Chloris gayana*, *Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum* et *Cynodon dactylon*, avec des GMQ de 27, 63, 50 et 47 g/j chez des ovins Djallonké. Binuomote et al. (2022) ont observé des variations significatives des paramètres de fermentation ruminale respectivement les teneurs en acides acétique, propionique, butyrique, valérique, gras volatiles, lactique, et le PH ; en fonction des niveaux de supplémentation de *Panicum maximum* par des feuilles de *Gmelina arborea*, tout en favorisant un environnement optimal pour les activités microbiennes.

4.3.2 Sous-produits agroindustriels et résidus de récolte

Des performances intéressantes ont été rapportées chez des petits ruminants nourris avec des rations contenant des sous-produits agroindustriels ou des résidus de récolte. Ainsi,

Idrissou et al. (2020) ont obtenu des GMQ de 70 à 78 g/j chez des ovins Djallonké, en substituant le tourteau de coton par des pulpes de soja sans affecter la digestibilité des rations. Fasae et al. (2022) ont signalé des GMQ variant entre 20,3 et 38 g/j pour les ovins, et entre 6,6 et 31,9 g/j pour les caprins, nourris avec des épiluchures sèches de manioc. Montcho et al. (2017) ont enregistré des GMQ plus élevés (48 à 51 g/j) chez des ovins Djallonké alimentés avec des épiluchures de manioc (fraîches ou sèches) ou des pelures de banane.

Lamidi et al. (2015) ont montré que les sons de maïs, de blé et de riz étaient différemment ingérés et digérés par les ovins Djallonké, engendrant des performances variables. Par ailleurs, Omotosho et al. (2021) ont constaté que des rations combinant sous-produits agroindustriels et résidus de récolte n'altéraient ni le pH ruminal ni la concentration en acides gras volatils, tout en favorisant une bonne santé animale.

Par ailleurs, les résidus de récolte offrent également un potentiel non négligeable (Barazi et al., 2019) ; Youssoufou et al., 2021). Amole et al. (2022) ont montré que la supplémentation avec 300 à 600 g de MS/j de fanes de niébé et 400 gMS/j de son de mil améliorait significativement les performances des ovins en engraissement. De même, un régime à base de paille de sorgho enrichie de fanes de niébé (200-400 g de MS/j) a permis un GMQ de 80 g/j, soit le double des ovins nourris uniquement à la paille de sorgho (Tarawali et al., 2003). En résumé, bien que les performances varient en fonction des ressources utilisées, les sous-produits agroindustriels et les résidus de récolte constituent des alternatives fiables pour pallier les défis alimentaires dans les élevages de petits ruminants, en particulier durant la saison sèche.

5 Changement climatique : perceptions, et mesures d'adaptation dans les élevages de petits ruminants en Afrique de l'Ouest et au Bénin

5.1 Perception des manifestations du changement climatique

Les communautés vulnérables des pays en développement, fortement dépendantes des ressources naturelles pour leur subsistance, sont particulièrement exposées aux impacts du changement climatique, car les secteurs les plus sensibles à ces perturbations sont l'agriculture et l'élevage (Gerber et al., 2014). Comprendre les perceptions et les stratégies d'adaptation des éleveurs de petits ruminants peut orienter l'élaboration de nouvelles pratiques, soutenir des politiques adaptées et renforcer des systèmes de production résilients face aux aléas climatiques (Banjoko et al., 2021).

De nombreuses études en Afrique subsaharienne ont exploré les perceptions des éleveurs, leurs stratégies d'adaptation, et les facteurs déterminant l'adoption de ces mesures dans les

communautés pastorales et agropastorales (Zampaligré et al., 2014 ; Gedefaw et al., 2018 ; Montcho et al., 2022 ; Tugjamba et al., 2023 ; Zan et al., 2024). Ces travaux révèlent une convergence autour des perceptions liées à la variabilité climatique, bien que les manifestations rapportées diffèrent selon les communautés.

Au Niger, les éleveurs de Filingué ont signalé une augmentation des températures, des épisodes de sécheresse prolongés et une fréquence accrue de vents violents (Abdou et al., 2020). En Éthiopie, les éleveurs ont également constaté une hausse des températures et une réduction des précipitations, ces observations étant corroborées par les données météorologiques locales (Abazinab et al., 2022). En revanche, au Burkina Faso, bien que des changements dans les régimes de température et de pluviométrie aient été relevés par les communautés pastorales et agropastorales, ces perceptions différaient partiellement des données réelles mesures pluviométriques enregistrées dans les zones sahéniennes et soudaniennes méridionales (Zampaligré et al., 2014).

Au Bénin, les recherches sur les impacts du changement climatique sur les systèmes de production des ruminants, notamment les petits ruminants, restent limitées et relativement récentes. Cependant, plusieurs études (Koura et al., 2015 ; Idrissou et al., 2020 ; Djohy et al., 2022 ; Montcho et al., 2022 ; Dimon et al., 2022) convergent sur le fait que les éleveurs et agro-éleveurs perçoivent les manifestations du changement climatique et leurs effets sur les systèmes de production. Parmi ces manifestations figurent les fluctuations des régimes pluviométriques, les périodes de sécheresse, les variations de température et les inondations.

Les éleveurs relèvent des impacts négatifs sur la qualité et la disponibilité des ressources alimentaires, l'accès à l'eau, la production laitière, la croissance et la fertilité des animaux, ainsi que leur résistance aux maladies (Kgosikoma et al., 2018 ; Menghistu et al., 2020 ; Idrissou et al., 2020). En outre, ils associent la dégradation des sols et des zones de pâturage à l'émergence de conflits entre agriculteurs et éleveurs, au déplacement des éleveurs et à une baisse significative des revenus des agro-éleveurs et des éleveurs (Zampaligré et al., 2014).

5.2 Mesures d'adaptation aux effets du changement climatique

Les stratégies d'adaptation au changement climatique varient selon qu'il s'agit de pasteurs ou d'agro-éleveurs. Les pasteurs privilégient souvent des mesures telles que l'achat et l'utilisation d'aliments complémentaires (fourrages, résidus de culture, concentrés), le déstockage des troupeaux, et la diversification des espèces animales, incluant des transitions vers des espèces plus résistantes comme les petits ruminants, les chameaux ou les volailles (Menghistu et al., 2020 ; Abazinab et al., 2022). Parmi les autres pratiques courantes figurent

la mobilité ou la migration des troupeaux, l'exploitation des pâturages des zones humides, la diversification des itinéraires de pâturage et la division des troupeaux (Koura et al., 2015 ; Montcho et al., 2022). En réponse à la sécheresse, certaines communautés recourent à des pratiques telles que la transhumance et le stockage de fourrages pour sécuriser les besoins alimentaires de leurs troupeaux (Abdou et al., 2020).

De leur côté, les agro éleveurs adoptent des mesures d'adaptation axées sur la diversification des cultures (introduction de variétés alimentaires et de rente), la modification ou la complémentation de l'alimentation animale, la révision des calendriers culturels (ajustement des périodes de semis et de récolte) et la polyculture-élevage (Zampaligré et al., 2014 ; Menghistu et al., 2020). Ces mesures reflètent leur double dépendance à l'agriculture et à l'élevage, ainsi que leur besoin de sécuriser des sources multiples de revenus face aux incertitudes climatiques.

Les facteurs socio-économiques et institutionnels jouent un rôle clé dans le choix des stratégies d'adaptation, influençant les réponses des agro-éleveurs et des pasteurs. Ces facteurs comprennent notamment l'accès aux services vétérinaires et aux marchés, le niveau d'éducation et d'expérience du chef ou de la cheffe de ménage, les ressources financières ou capitales du ménage, l'âge et la taille de la famille, la propriété des terres et des animaux, ainsi que le soutien institutionnel disponible (Zampaligré et al., 2014 ; Osumanu et al., 2017 ; Menghistu et al., 2020 ; Mihiretu et al., 2020). Par ailleurs, la zone agroécologique et la taille des troupeaux influencent également la capacité des éleveurs à adopter des mesures adaptées. Ces éléments soulignent l'importance de politiques ciblées et de programmes d'investissement spécifiques au secteur agricole pour promouvoir des systèmes de production plus résilients.

6 Lien entre l'élevage de ruminants et le changement climatique

L'évaluation de la contribution des gaz à effet de serre (GES) au changement climatique et les prévisions de leur évolution ont fait l'objet de nombreuses recherches. Les principaux GES, notamment le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), et le protoxyde d'azote (N_2O), jouent un rôle majeur dans le réchauffement climatique. Le CH_4 est particulièrement préoccupant en raison de son potentiel de réchauffement 28 fois supérieur à celui du CO_2 sur une période de 100 ans (IPCC, 2014).

Dans de nombreux pays, le secteur agricole est une source majeure de CH_4 , représentant 51% des émissions globales anthropiques de ce gaz. Ces émissions sont principalement associées à la riziculture et à l'élevage, en particulier via la fermentation entérique et la gestion

des effluents d'élevage pendant le stockage et l'épandage sur les sols de culture (FAO, 2023). L'élevage contribue globalement à hauteur de 18% des émissions de GES, dont 77% proviennent du cheptel bovin, tandis que les ovins et caprins représentent 13% et les porcins et volailles 10% (FAO, 2023).

Chez les petits ruminants, plus de 87% des émissions de CH_4 sont issues de la fermentation entérique dans le rumen. Ce processus est dû à l'activité des Archaea méthanogènes, qui convertissent l'hydrogène (H_2) et le CO_2 en CH_4 , grâce à une interaction complexe entre protozoaires ciliés, bactéries et champignons anaérobies présents dans le microbiote ruminal (Martin et al., 2010 ; Morgavi et al., 2010). Le CH_4 produit est principalement émis par éructation, ce qui constitue non seulement une perte énergétique significative pour l'animal (6 à 9% de l'énergie brute ingérée, soit 10 à 15% de l'énergie métabolisable), mais également une contribution importante à l'effet de serre (Johnson et al., 1995 ; Jouany, 2008).

Les activités de production, telles que la production de lait et de viande, génèrent plus de 55% des émissions de CH_4 associées aux petits ruminants, tandis qu'environ 35% proviennent de la production des aliments pour animaux. Les émissions liées au fumier sont faibles, étant donné que les excréments sont généralement déposés directement sur les pâturages (Gerber et al., 2014).

En Afrique subsaharienne, les niveaux d'émission de méthane par les ruminants sont élevés, en raison notamment de l'expansion de la production animale pour répondre à la demande croissante en produits d'origine animale dans les pays en développement (Peters et al., 2013 ; Assouma, 2016). Ces animaux sont souvent dans un système traditionnel, caractérisé par des pratiques extensives, favorable à une forte production de CH_4 .

Le CH_4 est un GES de courte durée de vie dans l'atmosphère (9 à 15 ans), mais son effet radiatif est particulièrement significatif. Il est responsable d'un forçage radiatif presque équivalent à celui de l'ensemble des autres GES, à l'exception du CO_2 (Sejian et al., 2011 ; IPCC, 2022). Le « forçage radiatif » est une perturbation de l'équilibre énergétique de la Terre causée par des facteurs externes, comme les GES ou les variations solaires. Il mesure la différence entre l'énergie solaire reçue et l'énergie thermique émise par la Terre, et son impact sur le climat. Un forçage radiatif positif tend à réchauffer la planète, tandis qu'un forçage négatif tend à la refroidir (Karakurt et al., 2012 ; Dean et al., 2018). La réduction des émissions de CH_4 dans les élevages de petits ruminants constitue une double opportunité : maximiser l'énergie disponible pour les processus physiologiques des animaux et limiter leur contribution au réchauffement climatique. Cela nécessite une amélioration des pratiques alimentaires.

6.1 Facteurs influençant la production du CH₄ entérique

La production de CH₄ dans le rumen des ruminants est influencée par plusieurs facteurs, notamment ceux liés à l'alimentation (type, quantité et qualité des rations) et à l'animal (génétique, état de santé, stade physiologique, âge).

6.1.1 Influence de la nature du régime alimentaire

Les émissions de CH₄ dépendent de deux éléments directement liés à la composition de l'alimentation des ruminants : (i) les quantités de matière organique fermentées dans le rumen et (ii) l'orientation des fermentations ruminales (Jouany, 2008). Selon les travaux de Jouany et al. (1994), une équation stœchiométrique permet de quantifier les produits de la fermentation ruminale, concluant que le CH₄ représente, en moles, environ la moitié des hexoses fermentés. Par ailleurs, Demeyer (1991), en se basant sur des bilans d'hydrogène métabolique mesurés *in vitro*, a démontré une corrélation entre la production de CH₄ et la composition des acides gras volatils (AGV). Il a observé que la méthanogenèse augmente avec la production d'acétate et de butyrate, tandis qu'elle diminue lorsque la production de propionate s'élève.

Une alimentation riche en fourrages favorise la production d'acétate dans le rumen, ce qui entraîne une augmentation des émissions de CH₄. Archimède et al. (2011), à travers une analyse extensive de la littérature, ont révélé qu'à niveau égal de digestibilité, de teneur en fibres détergentes neutres (NDF) et d'ingestion, les graminées à photosynthèse en C₄, c'est-à-dire ayant un mécanisme photosynthétique spécialisé qui leur permet de fixer le CO₂ de manière plus efficace, et typiques des climats chauds, génèrent des émissions de CH₄ supérieures de 10 à 17% par rapport aux graminées à photosynthèse en C₃ (typiques des climats tempérés). En revanche, les légumineuses présentant une photosynthèse en C₃ produisent davantage de CH₄ que celles en C₄, probablement en raison de leur teneur plus élevée en tannins, des légumineuses tropicales (Popova et al., 2011).

Les aliments concentrés, riches en amidon, modifient les fermentations ruminales en favorisant la production de propionate tout en réduisant la méthanogenèse. L'augmentation de la proportion de concentrés dans les rations entraîne une diminution de la production de CH₄, tant par kilogramme de matière sèche (MS) ingérée qu'en pourcentage de l'énergie brute (EB) ingérée (Doreau et al., 2011). Selon une méta-analyse réalisée par Sauvant et al. (2007), une proportion de concentrés dépassant 40% de la ration réduit significativement la proportion d'énergie métabolisable perdue sous forme de CH₄. En outre, les céréales induisent des émissions de CH₄ inférieures par kilogramme de glucides digestibles comparativement aux concentrés riches en parois cellulaires (Moe et al., 1979 ; Doreau et al., 2011). Cependant,

une proportion élevée de concentrés ($\geq 80\%$) dans la ration entraîne une inhibition marquée de la méthanogenèse, associée à un risque accru d'acidose ruminale. Cette situation se traduit par une baisse remarquable de la digestibilité des aliments et des performances zootechniques des animaux (Jouany, 2008).

6.1.2 Influence des quantités ingérées

L'ingestion alimentaire constitue un facteur déterminant dans la modulation des émissions de CH_4 chez les ruminants. Une augmentation des quantités ingérées réduit le temps de séjour des aliments dans le rumen, ce qui limite la digestion de la matière organique dans cet environnement et, par conséquent, diminue les émissions de CH_4 . En moyenne, une augmentation par deux des quantités ingérées entraîne une réduction de la production de CH_4 d'environ 10% (Jouany, 2008). Une relation inverse a également été observée entre la production de $\text{CH}_4/\text{Kg MS}$ ingérée et le niveau d'alimentation (Pinares-Patiño et al., 2007 ; Doreau et al., 2011).

Cette diminution des émissions de CH_4 par unité de MS est également influencée par une augmentation de la proportion de concentrés dans la ration, une pratique courante pour répondre aux besoins énergétiques élevés liés à une augmentation de la production animale. Une ingestion accrue accélère le transit digestif dans le rumen, orientant les fermentations ruminales vers une production accrue de propionate, un produit qui entre en compétition avec la méthanogenèse pour l'utilisation de l'hydrogène métabolique (Hoover et al., 1991).

Par ailleurs, une production animale accrue est associée à une réduction de l'émission de CH_4 rapportée à l'unité de produit fini, qu'il s'agisse de lait ou de viande. En effet, lorsque l'émission de CH_4 est exprimée par kilogramme de lait ou de gain de poids, la part des besoins d'entretien dans les besoins nutritionnels totaux est proportionnellement moindre. Ainsi, sur une lactation entière, l'émission de CH_4 rapportée à l'unité de production diminue lorsque le niveau de production augmente.

6.1.3 Variation entre animaux

Des variations interindividuelles importantes dans la production de CH_4 par unité de matière ingérée ont été rapportées pour une même espèce et un régime alimentaire identique, atteignant des écarts allant de 30% à 60% (Lassey et al., 1997). Ces variations pourraient s'expliquer par des différences dans le profil microbien du rumen. Ces différences concernent à la fois la composition de la biocénose microbienne et son activité métabolique, impactant ainsi l'efficacité digestive et la production de CH_4 (Zhou et al., 2011).

Une voie prometteuse pour réduire les émissions de CH₄ consiste à sélectionner des animaux présentant un profil génétique favorable, caractérisé par une moindre production de méthane (Doreau et al., 2011 ; Gbenou et al., 2024). Cependant, les résultats obtenus dans ce domaine sont encore contradictoires. Il reste à déterminer si cette héritabilité est d'ordre permanent ou transitoire, des études ayant rapporté des conclusions divergentes à ce sujet (Pinares-Patiño et al., 2013 ; Hegarty et al., 2005).

6.1.4 Diminution de la méthanogenèse ruminale à l'aide d'additifs alimentaires

L'utilisation d'additifs alimentaires constitue une stratégie prometteuse pour réduire la méthanogenèse ruminale, un processus clé dans les émissions de méthane (CH₄) chez les ruminants. Parmi ces additifs, les lipides et certains acides gras se distinguent par leur efficacité et leur caractère naturel (Jouany et al., 2007). En remplaçant partiellement les céréales, ils permettent d'augmenter la densité énergétique de la ration sans modifier significativement le pH ruminal, à condition d'être administrés à faibles doses ou sous forme de sels d'acides gras (Jouany et al., 1994 ; Popova et al., 2011).

Cependant, l'incorporation excessive de lipides dans la ration (> 6% de la MS ingérée) peut inhiber la digestion de la matière organique, en particulier de la fraction cellulosique, limitant ainsi leur utilisation (Ikwuegbu et al., 1982). Malgré cela, les acides gras saturés à chaîne moyenne, tels que l'acide laurique (C12:0) et l'acide myristique (C14:0), présents dans l'huile de coprah ou de palmiste, ont démontré une efficacité notable. Ces composés réduisent significativement les populations d'archaea méthanogènes et de protozoaires, diminuant ainsi la production de CH₄ à la fois *in vitro* (Soliva et al., 2004) et *in vivo* (Machmüller et al., 2003).

Des essais ont également mis en évidence des effets spécifiques des différentes sources lipidiques. Par exemple, une supplémentation de 2,5% d'huile de lin dans la ration d'agneaux en croissance a entraîné une réduction de 10% de la production de CH₄ (Machmüller et al., 2000). Chez les vaches laitières, une ration enrichie avec 5% d'huile de lin a permis une diminution de 30% des émissions de CH₄ (Martin et al., 2008). L'efficacité de réduction des émissions par Kg de MS ingérée diffère selon le type d'acide gras. Pour un apport de 1% MS de lipides supplémentaire dans la ration, la réduction est de 8,5% pour les acides gras à chaîne moyenne (coprah), de 5,6% pour l'acide linoléique (lin), et de 4,0% pour l'acide linoléique (tournesol et soja) (Doreau et al., 2011). L'effet de l'huile de tournesol, bien que modéré, reste significatif avec une réduction des émissions de CH₄ de 8,1% (Laabouri et al., 2015). En revanche, les acides gras mono-insaturés (acide oléique, colza) et saturés (palmitique, stéarique, présents dans les graisses cristallisées, l'huile de palme) montrent un effet plus

limité. Ces additifs, en raison du coût abordable de certains, représentent une option intéressante pour limiter les émissions entériques de méthane.

En complément des lipides, les additifs chimiques et les acides organiques offrent également un potentiel significatif pour réduire la méthanogenèse ruminale. L'ajout de chloroforme dans la ration des vaches taries a permis une réduction spectaculaire des émissions de CH₄, atteignant 94% (Knight et al., 2011). L'utilisation de bromochlorométhane (BCM) a montré une diminution de 59% de la production de CH₄ in vivo, accompagnée d'une réduction de 34% des populations d'archaea méthanogènes (Denman et al., 2007). Les acides organiques, quant à eux, agissent en stimulant la production d'AGV, en particulier le propionate. Cette stimulation entraîne une diminution du ratio molaire acétate : propionate, ce qui contribue à réduire la production de CH₄ (Doreau et al., 2011 ; Popova et al., 2011). Il y a aussi le 3 nitrooxypropanol, les nitrates, les algues rouges (celles du genre *Asparagopsis* contiennent du bromoforme (CHBR3)) qui jouent d'importants rôles dans la diminution des émissions de CH₄. Cependant les solutions chimiques se révèlent inappropriées dans le contexte général des pays subsahariens, et du Bénin en particulier. La technicité requise, le coût économique, le défaut de cadre sanitaire réglementaire, et le manque d'assistance pratique (défaut de contact régulier avec un agent vétérinaires et assimilés) sont autant de contraintes qui entravent l'utilisation de ces solutions.

6.1.5 Ration contenant des substances anti méthanogènes

Les tanins sont reconnus depuis plusieurs années pour leur capacité à inhiber la production de méthane (CH₄) entérique chez les ruminants (Doreau et al., 2011 ; Popova et al., 2011). Cependant, leur impact sur les protozoaires ruminiaux reste controversé. Certaines études rapportent une absence d'effet sur le nombre de ciliés (Newbold et al., 2004), tandis que d'autres signalent une réduction significative de cette population (Hristov et al., 2003). Cette tolérance observée dans certains cas pourrait être attribuée à la capacité de certaines espèces microbiennes à dégrader ou modifier les tannins, éliminant ainsi leur impact dans le milieu ruminal (Popova et al., 2011).

Les mécanismes par lesquels les tanins agissent sur les archaea méthanogènes, notamment *Methanobrevibacter ruminantium*, ont été étudiés par Tavendale et al. (2005) et Rira (2019). Les tanins condensés réduisent la production de CH₄ par deux voies principales : (i) en diminuant la fermentation des glucides, et (ii) en agissant directement sur les microorganismes producteurs de CH₄. En revanche, les tanins hydrolysables semblent réduire la méthanogenèse principalement via un effet direct sur les microorganismes (Vasta et al., 2019 ; Rira, 2019). L'impact négatif des tanins hydrolysables a été démontré sur les protozoaires,

producteurs majeurs d'hydrogène (H_2), et sur les archaea méthanogènes responsables de la conversion du H_2 en CH_4 . Des études utilisant des extraits purifiés de tanins hydrolysables, tels que ceux de châtaignier et de sumac (Jayanegara et al., 2015), de châtaignier et de valonea (Witzig et al., 2018), ou encore l'acide tanique (Yang et al., 2017), ont mis en évidence cet effet inhibiteur. Plus récemment, Zabré et al. (2018) ont confirmé cette action avec *Acacia raddiana*, une plante proche d'*Acacia nilotica*. Concernant les bactéries cellulolytiques, aucune diminution de leur population n'a été observée, bien qu'un changement de leur composition microbienne ait été relevé avec des extraits de châtaignier et de valonea (Witzig et al., 2018). Ces données suggèrent que les tanins hydrolysables pourraient être plus efficaces que les tannins condensés dans la réduction des émissions de CH_4 .

Outre les tanins, les saponines se distinguent également par leur activité antiméthanogène. La réduction des émissions de CH_4 observée chez les animaux recevant des rations riches en saponines peut être partiellement attribuée à leur toxicité envers les protozoaires ruminiaux (Martin et al., 2010). Par exemple, une saponine extraite de *Sesbania sesban* (un arbre africain) a entraîné une réduction de 60% du nombre de protozoaires dans le rumen de moutons en quatre jours. Toutefois, une adaptation des protozoaires a été observée, avec un retour à des niveaux initiaux en quelques jours (Newbold et al., 2004). L'effet des saponines sur les archaea méthanogènes, étudié in vitro, varie en fonction de la structure moléculaire des saponines utilisées. Goel et al. (2008) ont rapporté que les effets de *S. sesban* sur la méthanogenèse étaient plus prononcés chez les animaux recevant une ration riche en concentrés que ceux nourris principalement avec des fourrages. Ces observations suggèrent que l'efficacité des saponines est modulée par la composition de la ration alimentaire (Popova et al., 2011).

Ces résultats indiquent que les tanins (condensés et hydrolysables) et les saponines possèdent des propriétés intéressantes pour atténuer les émissions de méthane chez les ruminants. Cependant, des recherches complémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre leurs mécanismes d'action, évaluer leur durabilité à long terme, et optimiser leur utilisation en production animale tout en maintenant la santé et les performances des animaux.

6.2 Pistes de réduction des émissions de CH_4 entérique chez les ruminants

La réduction des émissions de CH_4 entérique chez les ruminants repose sur plusieurs leviers, liés aux facteurs influençant cette production. Rira et al. (2015) ont identifié trois principaux axes d'intervention : la manipulation de l'animal, la manipulation de l'alimentation, et la manipulation du fonctionnement ruminal. Ces approches ont été reprises par Gbenou et al. (2024), qui introduisent en plus la notion d'atténuation précoce, comprenant des pratiques

appliquées dès les premières phases de la vie des animaux, telles que la défaunation du rumen, l'utilisation de probiotiques ou de vaccins. Cependant, la majorité des solutions proposées convergent vers une optimisation des stratégies alimentaires (Tableau 1).

L'utilisation de rations riches en concentrés représente une option efficace pour réduire les émissions de CH_4 (Doreau et al., 2017), mais elle est associée à un risque accru de troubles digestifs. Par ailleurs, l'enrichissement des rations en lipides est une stratégie prometteuse (Laabouri et al., 2015). Toutefois, le niveau d'incorporation des lipides doit être adapté en fonction de l'espèce et de la catégorie animale afin d'éviter des effets négatifs sur la digestion. Certains additifs alimentaires, tels que le nitrate de calcium et le 3-nitrooxypropanol, se sont révélés efficaces pour réduire la méthanogenèse (Vermorel et al., 2008). Cependant, l'utilisation du nitrate de calcium reste délicate sur le terrain, tandis que celle du 3-nitrooxypropanol est encore en phase expérimentale. Les plantes riches en tanins, bien qu'elles présentent un potentiel de réduction des émissions de CH_4 , peuvent compromettre les performances animales (Doreau et al., 2016). Les mécanismes d'action des tanins, qu'ils soient hydrolysables ou condensés, ne sont pas totalement élucidés. Il existe de multiples mécanismes qui pourraient expliquer l'effet antiméthanogène des tanins, mais il est probable que ces mécanismes ne soient pas exclusifs (Cardoso-Gutierrez et al., 2021). Les travaux de Martin et al. (2010) ont exploré des stratégies innovantes, notamment l'usage d'additifs inhibant les microorganismes méthanogènes ou modifiant les orientations métaboliques ruminales, ainsi que les biotechnologies telles que la sélection de microorganismes ruminiaux spécifiques ou la vaccination contre les archées méthanogènes.

Au Bénin et dans le contexte subsaharien en général, les élevages de petits ruminants offrent des opportunités significatives pour appliquer ces stratégies d'atténuation des émissions de CH_4 (Assouma, 2016 ; Gbenou et al., 2024). En effet, les éleveurs exploitent une diversité de ressources alimentaires locales, notamment les feuilles de ligneux et divers sous-produits agro-industriels. Parmi les différentes approches, la manipulation du régime alimentaire semble être la plus accessible et adaptable aux conditions d'élevage locales, offrant une option concrète et peu contraignante pour réduire les émissions de CH_4 .

Tableau 1 : Stratégies de réduction des émissions de CH₄ chez les ruminants (Gbenou et al., 2024)

Stratégies d'atténuation	Leviers d'action
Stratégies nutritionnelles	Amélioration de la qualité des aliments et du niveau d'ingestion par les : – légumineuses arbustives, aliments concentrés, – coproduits des cultures, – suppléments lipidiques, – huiles essentielles, – conservations des fourrages, – améliorations du pâturage.
Manipulation des fermentations du rumen	Utilisation d'additifs : – antibiotiques ionophores, – 3-nitrooxypropanol, – macro-algues, – fumarate, malate, nitrate, sulfate.
Atténuation précoce	Utilisation en début de vie : – vaccin, – probiotiques, – défaunation du rumen, – apport de biochar, – apport bactéries oxydant le méthane.
Gestion du troupeau	Limitation du nombre/proportion d'animaux improductifs. Maintien du bon état sanitaire des animaux. Réduction de l'âge des femelles au premier vêlage. Sélection d'animaux moins émetteurs. Réduction du cheptel à l'échelle nationale.

6.3 Méthodes de mesure d'émission de CH₄ courantes en Afrique subsaharienne

La production de CH₄ est exprimée à travers des unités et bases très variées : en énergie (kcal ou MJ), en volume, ou en masse. Par ailleurs, les modes d'expression diffèrent largement. Le CH₄ peut être rapporté par animal, par kilogramme de poids vif (pour permettre une comparaison entre espèces telles que bovins, ovins et caprins) ou par unité de produit fini (comme le kilogramme de lait, de carcasse ou de viande) (Sauvant et al., 2011). Cette hétérogénéité soulève des enjeux importants quant à l'interprétation des résultats publiés. En fonction du mode d'expression adopté, des conclusions peuvent s'avérer contradictoires ou conduire à des interprétations erronées, voire risquées.

Les méthodes employées pour quantifier les émissions de CH₄ se divisent en techniques directes et indirectes (Jouany, 2008 ; Popova et al., 2011 ; Gbenou et al., 2024). Chaque méthode repose sur des exigences et des hypothèses spécifiques, ce qui peut limiter leur applicabilité en dehors de leur cadre initial. De plus, ces techniques présentent des niveaux d'exactitude et de précision variables, qui peuvent être influencés par les conditions dans lesquelles elles sont utilisées. Une mauvaise application, notamment lorsque les conditions expérimentales ne respectent pas les hypothèses de départ, peut entraîner une surestimation ou une sous-estimation des émissions de CH₄ (Tedeschi et al., 2022).

6.3.1 Méthodes de mesure directe

a- Technique de chambre respiratoire

Cette technique, considérée comme la référence par la communauté scientifique internationale, est la méthode la plus précise pour quantifier la production de CH₄ chez les ruminants. La méthode repose sur une mesure directe de la totalité du CH₄ produit par l'animal, réalisée au moyen d'un système automatisé permettant un suivi en continu et en temps réel des cinétiques d'émission. En pratique, l'animal est placé dans une chambre ventilée par un flux d'air contrôlé et mesuré. Les émissions de CH₄ sont calculées à partir de la différence de concentration entre l'air entrant et sortant de la chambre, combinée avec le débit du flux d'air (Johnson et al., 1995).

Bien que cette méthode soit d'une grande précision, plusieurs contraintes en limitent l'usage généralisé. Entre autres, on peut citer : le coût élevé de l'installation et de l'entretien, la technicité requise pour garantir des mesures fiables, la nécessité de maintenir des conditions optimales de fonctionnement des équipements, et les risques de perturbation du comportement et du métabolisme des animaux liés à leur confinement (Gerrits et al., 2015 ; Huhtanen et al., 2019 ; Tedeschi et al., 2022 ; Gbenou et al., 2024).

b- Système GreenFeed

Le système GreenFeed est un dispositif autonome comprenant une chambre de tête équipée d'une trémie aérienne (ou double trémie, selon les modèles). Ce système distribue de petites quantités d'aliments attractifs dès que l'animal place sa tête à proximité du capteur. Cette incitation alimentaire amène l'animal à positionner sa tête à l'intérieur de la chambre, permettant ainsi de mesurer l'augmentation des concentrations de CH₄ et de CO₂ dans l'air expiré, comparées aux concentrations de fond de l'air ambiant (Hristov et al., 2015 ; Tedeschi et al., 2022 ; Gbenou et al., 2024). La quantification quotidienne des émissions de CH₄ est obtenue en moyennant les données recueillies lors d'une vingtaine de visites d'une durée de trois à cinq minutes chacune. Ces visites, réparties sur plusieurs jours et à différents moments de la journée, assurent une représentativité des variations liées aux cinétiques d'ingestion (Manafiazar et al., 2016 ; Tedeschi et al., 2022 ; Gbenou et al., 2024).

Ce système permet d'analyser simultanément les émissions de plusieurs animaux (jusqu'à une vingtaine) (Münger et al., 2018), et peut être utilisé dans le cadre de la recherche et dans des exploitations commerciales avec des petits et des grands ruminants (Zhao et al., 2020 ; Tedeschi et al., 2022). Il est compatible avec les conditions de pâturage, à l'hébergement en groupe à l'intérieur et à l'extérieur, ainsi qu'aux animaux confinés individuellement. Les

principaux atouts du système sont sa facilité d'utilisation, la possibilité d'effectuer des mesures sur un grand nombre d'animaux et la possibilité de son utilisation d'animaux dans des conditions différentes (Tedeschi et al., 2022 ; Gbenou et al., 2024).

c- Technique du gaz traceur hexafluorure de soufre (SF₆)

Développée par Johnson et al. (1995), la méthode utilisant le SF₆ repose sur les propriétés de ce gaz, notamment sa détection facile et sa grande inertie chimique. Fréquemment utilisée comme méthode de référence pour évaluer d'autres techniques, elle repose sur le principe de dilution d'un gaz traceur inerte, introduit dans le rumen et capable de se mélanger aux gaz émis lors des fermentations (CH₄, CO₂) (Popova et al., 2011). Le SF₆ est introduit dans le rumen sous forme de capsules perméables, dont la vitesse de diffusion est préalablement calibrée in vitro. Cette méthode repose sur la mesure du rapport de concentration entre le gaz traceur et les gaz GES émis. Le gaz traceur, diffusé de manière constante, se mélange uniformément au méthane produit par l'animal. Les rapports d'émission entre le SF₆ et les GES sont considérés identiques aux rapports de leurs concentrations respectives. Ainsi, en connaissant le flux d'émission du traceur, il est possible de calculer celui des GES (Pinares-Patiño et al., 2015).

La méthode du SF₆ mesure les émissions respiratoires (par haleine), du rumen, et exclut celles provenant du rectum. Divers facteurs affectent la précision des résultats au nombre desquels : la libération irrégulière de SF₆ par les tubes de perméation, les concentrations de fond élevées de SF₆ et de CH₄ dans l'air ambiant, la défaillance des équipements (rupture ou fuite des bidons de collecte d'air, blocage des tubes d'échantillonnage), et la manipulation fréquente des animaux (Lassey, 2007 ; Tedeschi et al., 2022).

6.3.2 Méthodes de mesure indirecte

a- Calorimétrie indirecte

Les émissions CH₄ chez les ruminants ont été évaluées à l'aide de techniques de calorimétrie indirecte, qui se basent sur l'estimation de la consommation énergétique via la mesure de la consommation d'oxygène et de l'expiration de dioxyde de carbone (Blaxter, 1989). Dans ce contexte, les calorimètres sont utilisés pour mesurer les échanges gazeux dans le cadre de l'évaluation de l'équilibre énergétique, la perte de CH₄ représentant une composante essentielle de cette analyse.

Il existe deux principaux modèles de calorimètres : les calorimètres à circuit ouvert et les calorimètres à circuit fermé. Les systèmes ouverts, les plus couramment utilisés, impliquent

un flux d'air extérieur circulant en continu autour de la tête, de la bouche et du nez de l'animal. L'air collecté est bien mélangé, et la concentration de CH_4 est mesurée en comparant les quantités de gaz présentes dans l'air entrant et sortant. Dans les systèmes fermés, des absorbants de dioxyde de carbone (CO_2) sont utilisés pour maintenir la circulation de l'air, contrôler ses caractéristiques (température, humidité) et gérer la concentration de CO_2 . La précision de cette technique dépend de l'étanchéité du système, toute fuite d'air pouvant compromettre les mesures. Bien que précis, les calorimètres à circuit fermé présentent certaines contraintes spécifiques liées à la durée courte des mesures (en raison des besoins en oxygène de l'animal), et aux risques pour le bien-être animal. Une absence prolongée d'oxygène peut mettre en danger l'animal (Laabouri et al., 2018). En dépit de ces limitations, les techniques de calorimétrie indirecte demeurent des outils fondamentaux pour quantifier les émissions de méthane dans les études sur l'équilibre énergétique des ruminants.

b- Technique de production de gaz in vitro

La technique de fermentation *in vitro* est couramment utilisée pour quantifier la fermentation ruminale des aliments pour animaux. Plus récemment, elle a également été adoptée pour évaluer l'efficacité de diverses stratégies nutritionnelles visant à réduire la production CH_4 entérique (Yáñez-Ruiz et al., 2016 ; Tedeschi et al., 2022 ; Gbenou et al., 2024). Étant donné la complexité et le coût élevé des méthodologies employées pour mesurer directement les émissions de CH_4 chez les animaux, l'utilisation de systèmes *in vitro* constitue une alternative plausible (Tedeschi et al., 2022 ; Gbenou et al., 2024). Cette approche est particulièrement adaptée pour effectuer un criblage initial d'un grand nombre d'échantillons, notamment dans le cadre de l'évaluation d'alternatives de réduction de la méthanogenèse telles que les tanins, les métabolites secondaires des plantes et les huiles essentielles (Tedeschi et al., 2021).

Le principe repose sur la fermentation contrôlée d'aliments en laboratoire, utilisant le microbiote ruminal naturel comme inoculum. Les fermenteurs contiennent un mélange de liquide ruminal, de solution tampon et de minéraux, incubés à 39 °C pendant des durées variables, généralement de 24 à 144 heures selon les objectifs de l'étude (Storm et al., 2012). Au cours de l'incubation, le gaz total produit est collecté et analysé pour déterminer sa composition, notamment la quantité de CH_4 générée. En parallèle, la dégradation des aliments est évaluée, permettant de mesurer la digestibilité ainsi que l'efficacité des interventions visant à réduire la méthanogenèse. Ces données fournissent des indications précieuses sur le potentiel de réduction du CH_4 grâce à différentes stratégies nutritionnelles testées dans des conditions *in vitro*.

c- Equations de prédiction

La simplicité des modèles empiriques constitue souvent un critère déterminant dans le choix des outils de prédiction des émissions de CH_4 . Cette simplicité résulte principalement des données d'entrée requises pour leur fonctionnement, lesquelles proviennent généralement de modèles ou de méthodes de régression statistique (Tedeschi et Fox, 2020). Bien que ces modèles soient peu explicatifs des mécanismes biologiques sous-jacents aux émissions de CH_4 , ils remplissent leur rôle en tant qu'outils de prédiction déterministe.

Face à l'impossibilité pratique de mesurer les émissions de CH_4 pour chaque animal, des méthodes mathématiques ont été développées. De Haas et al. (2011) et Laabouri et al. (2018) ont mis en évidence que l'ingestion de matière sèche (MS) peut être utilisée comme un paramètre clé pour prédire les émissions de CH_4 , car elle explique une part importante de leur variabilité. Gbenou et al. (2024) ont enrichi ce modèle en ajoutant d'autres paramètres comme les constituants du lait et les fèces. De leur côté, Sauvante et al. (2011) ont souligné l'importance des composantes chimiques des aliments et de la digestibilité des matières sèches et organiques dans les modèles prédictifs. Parmi les autres techniques, il y a l'utilisation de détecteurs laser de CH_4 ainsi que la méthode basée sur l'analyse des gaz expirés. Ces approches, bien adaptées aux contextes pratiques et économiques de l'Afrique subsaharienne, sont également mentionnées par Gbenou et al. (2024).

Objectifs

Chapitre 2 : Objectifs de l'étude

La revue de littérature a établi que la maîtrise de l'alimentation reste un défi permanent dans les systèmes de production de petits ruminants. Les enjeux liés à la disponibilité (en quantité et en qualité), à l'accessibilité, et à l'utilisation optimale des ressources d'alimentation en toute saison de l'année sont motivés par plusieurs facteurs. Il s'agit entre autres : de la dynamique spatio-temporelle autour des ressources alimentaires, du manque de formation des éleveurs sur les techniques de production, le déficit chez ces éleveurs d'informations précises et utiles sur ces ressources d'alimentation. De plus, aucune donnée n'est disponible sur les niveaux d'émission de CH₄ permis par les ressources alimentaires locales.

Partant, cette thèse constitue une contribution à l'amélioration de la productivité des systèmes traditionnels d'élevage de petits ruminants au Bénin, en proposant des stratégies d'alimentation optimisées qui répondent à trois critères fondamentaux : viabilité économique, durabilité environnementale et acceptabilité sociale.

De façon spécifique, il s'agit de :

- Décrire les perceptions des éleveurs concernant les impacts des variations climatiques sur leurs systèmes d'élevage ainsi que les mesures d'adaptation mises en œuvre, en se concentrant sur les stratégies alimentaires dans la zone d'étude ;
- Caractériser les ressources et les pratiques alimentaires utilisées dans les élevages de petits ruminants, en fonction de leur disponibilité et de leur accessibilité ;
- Étudier le comportement alimentaire des petits ruminants, en analysant leur préférence et la digestibilité des ressources alimentaires les plus accessibles et utilisées dans la zone d'étude ;
- Évaluer les performances zootechniques et les niveaux d'émission de CH₄ entérique, chez les petits ruminants nourris avec des rations formulées à partir de ressources alimentaires localement disponibles et accessibles.

Suivant ces objectifs spécifiques, les hypothèses de recherche ci-après ont été formulées :

- **H1** : Les perceptions des éleveurs quant à la variabilité des facteurs climatiques, ainsi que leurs stratégies d'adaptation aux effets de ces variations, ne diffèrent significativement pas selon la zone agroécologique considérée ;
- **H2** : Les stratégies alimentaires adoptées dans les élevages de petits ruminants échappent à l'influence de divers facteurs, notamment l'espèce élevée, l'origine

ethnique de l'éleveur, son expérience en élevage, ainsi que les variations saisonnières ;

- **H3** : En présence simultanée de différentes ressources alimentaires en quantités identiques, les petits ruminants expriment des préférences alimentaires qui ne tiennent pas compte de la valeur nutritive des aliments ainsi que de leur expérience de consommation antérieure ;
- **H4** : Les performances zootechniques et les niveaux d'émission de CH₄ entérique des petits ruminants nourris avec des rations incluant des feuilles de ligneux sont supérieurs à ceux obtenus avec des rations contenant principalement des sous-produits agroindustriels.

Section expérimentale

Section expérimentale

Etude 1:

Small ruminant farmers' feeding strategies to cope with climate change
across five agroecological zones of Benin, West Africa

Chapitre 3, étude 1: Small ruminant farmers' feeding strategies to cope with climate change across five agroecological zones of Benin, West Africa

Résumé opérationnel

La compréhension et l'intégration des perceptions ainsi que des mesures d'adaptation des éleveurs de petits ruminants constituent des préalables essentiels à la réussite des initiatives visant à accompagner ces acteurs dans un contexte de changements climatiques et de défis économiques croissants. Or, une analyse des travaux de recherche menés au Bénin révèle une carence notable d'informations spécifiques sur ces aspects, et surtout l'alimentation des animaux, bien qu'ils soient directement liés à la sécurité alimentaire et à la durabilité des systèmes de production. Dans ce contexte, la présente étude, fondée sur des enquêtes réalisées en milieu réel, vise à combler ces lacunes en fournissant des données fiables et actualisées. Ces informations serviront à orienter les interventions publiques et privées en faveur de l'amélioration de la résilience des systèmes d'élevage de petits ruminants, tout en renforçant les revenus des communautés pastorales et agropastorales.

Section expérimentale

Etude 1:

Small ruminant farmers' feeding strategies to cope with climate change
across five agroecological zones of Benin, West Africa

<i>Publié dans Heliyon, Volume 10, Issue 21, e39834</i>

Euvarard Landry Romaric Gninkplékpo , Bossima Ivan Koura , Paolo Lesse , Ismael Toko ,
Dominique Demblon , Marcel R.B. Houinato , and Jean-François Cabaraux

Abstract

This study aimed to understand feeding strategies used by small ruminant farmers to cope with climatic change in the five contrasting agroecological zones (AEZ) of the Benin Republic and to identify the determinants of adopting these strategies. A semi-structured questionnaire was used to conduct interviews on 400 smallholder farms in the rural areas of Benin. Data were collected on production system characteristics, farmers' perception of climatic changes' impacts on livestock production, and their coping strategies. Cross tabulations with Chi² statistic and the non-parametric Kruskal Wallis test were used to compare farmers' perception and coping strategies between the five AEZ. Then, the binomial logistic regression was used to identify determinants of using a particular adaptive feeding strategy. The farmers perceived climatic changes as rainfall delays, increasing rainfall, less frequent drought periods during the rainy season, no change in sunshine duration, and no change in temperature. These changes negatively affected grassland biomass production (86.3, 86.3 and 77.5% of farmers in South Borgou, Atacora chain, and Oueme Valley AEZ, respectively) and water availability (100, 93.7, and 85% of farmers in Oueme Valley, Plateau and Mekrou-penjari AEZ, respectively). Consequently, farmers mentioned decreased animal growth (58.8% and 45% of farmers in Plateau and South Borgou AEZ, respectively) and increased animal mortality (43.8% in Plateau AEZ). Farmers' current and future coping strategies varied significantly ($p < 0.05$) among AEZ. These strategies included more diversification of feed resources used, more free wandering of animals, feeding intensification with supplements as current strategies, and new feed resource exploration and forage cultivation as future strategies. Logistic regression on farmers showed that gender, education level, main activity, and the climatic and agroecological zones where the farm is located influenced the strategies used. The study showed that farmers understood climate change and its impact on production systems. In response, the common climate-smart feeding strategies adopted were mainly diversifying feed resources. Feed resources use strategies and limitations to adopting these strategies could be assessed in future studies.

Keywords: Climate-smart agriculture, Goat, Sheep, Smallholders, Determinants, Sub-Saharan Africa.

Introduction

In 2016, the Sub-Saharan Africa (SSA) region accounted for 950 million people, approximately 13% of the global population, and this share is projected to increase to almost 22% or 2.1 billion in 2050 (FAO, 2016; Williams et al., 2018). Livestock keeping employs more than half of the total labor force and, within the rural population, provides a livelihood for many small-scale producers (Nardone et al., 2010). Smallholder farms constitute approximately 80% of all farms in SSA and employ about 175 million people directly (FAO, 2016).

In the Republic of Benin, the agricultural population accounts for 54.8% of Benin's total population, and livestock farming is practiced by 65.42% of agricultural households, including 22.4% cattle households, 44.9% sheep households, and 50.3% goat households (DSA, 2021). Small ruminants are produced nationwide, with about 950,000 heads of sheep and 2,000,000 heads of goats. The national herds support the livelihoods of about 600,000 rural people, mainly low-income people (DSA, 2021). Small ruminants represent an important production for ensuring food, financial (savings, household needs in off-farm periods, medical costs), and socio-cultural (baptism, wedding, Aïd) security (Alary et al., 2011; Dossa et al., 2008 and 2011) for farmers.

In 2021, the national demand for meat at Benin was estimated at around 250,000 tons, while the national production met only 37.2% of this demand, with cattle contributing 49.1%, goats at 12.5%, sheep at 12.1%, pigs at 12.8%, and poultry for 13.5% (DSA, 2021). However, these statistics did not take household production into account. Like in other West African countries, small ruminant meat comes mainly from small-scale farms with a traditional, extensive, and natural grazing-based system (Dossa et al., 2015; Dahouda et al., 2019). Feeding constraints are the major limitation to small ruminant production (Dossa et al., 2008; Dahouda et al., 2019; Missohou et al., 2016; Houessou et al., 2021). This is due to the farmers' low training capacity to feed their animals efficiently, the forage scarcity during dry seasons, and the high cost of supplements that can be used to improve the animals' nutritional status. Even though recent studies have emphasized alternative feeds and innovative feeding strategies, it has been observed that poor rural farmers are slow to adopt these technological innovations (UNDP, 2015). These constraints are enhanced by ongoing climatic changes (Koura et al., 2015) with direct and indirect effects on ruminant breeding, including heat stress, limited and low-quality pasture availability, and emerging infectious diseases (Chaibou et al., 2019; Silanikove et al., 2015; Joy et al., 2020). Therefore, productive and reproductive performances decrease, and mortality increases. Indeed, Diallo et al. (2021) revealed that a one-degree rise could cause a drop in milk yield of 23% and 8% in sheep and goats, respectively. Dimon et al., (2022) showed

that feeding practices influence reproductive and mortality parameters in small ruminants. Furthermore, exposure of animals to heat stress compromises growth, milk, and meat production and reproduction (Joy et al., 2021). Smallholder poor farmers in developing countries constitute one of the most vulnerable groups to climate change, being exposed to strong climate signals with a limited adaptive capacity (Cacho et al., 2020) due to the lack of training and information. As a result, climate change poses a more significant threat to food security in these countries (FAO, 2016; Williams et al., 2018; Nardone et al., 2010; IPCC, 2014). So, identifying strategies for improving smallholder farmers' adaptive capacity is essential to enhance animal productivity and increase farmers' incomes (Cacho et al., 2020).

Benin has been experiencing climatic changes since the 1960s (Vissin et al., 2012; Hounnou, 2020). Several studies in West African regions, particularly in the Republic of Benin, have examined how small ruminant and cattle farmers perceive and adapt to climate change in various environments (Kate et al., 2015; Zizinga et al., 2017; Atsiaya et al., 2019; Montcho et al., 2022). The common adaptive measures documented were the increased use of agro-industrial by-products, crop residues or tree fodders, the better integration of crop and livestock, and transhumance (Dimon et al., 2022; Abdou et al., 2020). However, these studies were mainly concerned with cattle farms. Recently, some studies have addressed the perception and adaptation practices in small ruminant farms in Nigeria, Ghana, Burkina-Faso, and Cameroun (Zan et al., 2024; Tendonkeng et al., 2021; Tetteh et al., 2020; Chedid et al., 2018; Tambo et al., 2013). In Benin, only the works of Dimon et al., (2022) and Ariom et al., (2024) have addressed small ruminant farmers' adaptative strategies to climate change.

Meanwhile, there is scarce information about farmer coping strategies for feeding practices in West Africa in various agroecological zones (AEZ). Indeed, climate changes may be perceived differently, and farmers can develop various adaptive strategies to the climatic characteristics of the region where the farm is located (Karki et al., 2020). Therefore, this study aimed to assess the small ruminant small-scale farmers' perception of climate change impacts on their environment and production, report their coping strategies across different AEZ and identify determinants of adopting some coping strategies. This study assumed that smallholder farmers of small ruminants, with little capacity to embrace technical innovations, perceive climate change impacts differently. In response to the changing climate, these farmers could have developed innovative feeding strategies adapted to their AEZ. This study addressed the following research questions: How do small ruminant farmers perceive climate change across AEZ? What kind of feeding strategies are developed by farmers to face climate change? Is there a variation in strategies developed by farmers according to the AEZ?

Material and methods

Conceptual framework and study area

The analytical framework of the study is shown in Figure 20. This study focused on understanding the perceptions of small ruminant farmers of climate change and its impacts on production systems and adaptation strategies. It also connected the socio-economic status of farms and farmers' adaptation strategies in the face of climate change. The study started with the observation that the adaptation strategies of small ruminant farmers were linked to their perception of the impacts of climate change and how they had to deal with it. Several studies have indicated that perception is influenced by the socio-economic characteristics of farmers' households (Uddin et al., 2017; Komowski et al., 2017) and adaptation measures (Opiyo et al., 2016; Jha et al., 2021). The physical and institutional environment of agricultural producers also matters (Le Dang et al., 2019). The relationship between the different variables was done using descriptive statistics and binary logistic regression methods, making it possible to analyze the determinants of adopting adaptation strategies.

The study was conducted from February to June 2019 in five municipalities (Lalo, Za-kpota, N'dali, Boukombe, and Karimama), corresponding to five different AEZ (Plateau, Oueme Valley, South Borgou, Atacora chain, and Mekrou-penjari) in the Republic of Benin. These AEZ were located in three different climatic zones (arid, semi-arid, and sub-humid) (Figure 21) as described in table 2, where biophysical factors were defined according to the works of Adamou et al. (2005) and Akoegninou et al. (2006). The municipalities (commune) were selected according to two criteria: i) hold a high number of small ruminants and ii) be a municipality with a high proportion of food unsecured households according to the Comprehensive Food Security and Vulnerability Analysis (WFP, 2014). Food insecurity is when people do not have regular access to safe, nutritious food for normal growth and development and an active, healthy life (FAO, 2016). These food-insecure households were selected to make small ruminants keeping a tool against poverty and to improve access to animal protein. Four villages were selected in each municipality (n=20 villages) following the criteria mentioned above. As there is no exhaustive and reliable database of small ruminant farmers in the studied areas, the local official from the Ministry responsible for animal production was contacted and asked to help select municipalities and villages to be surveyed.

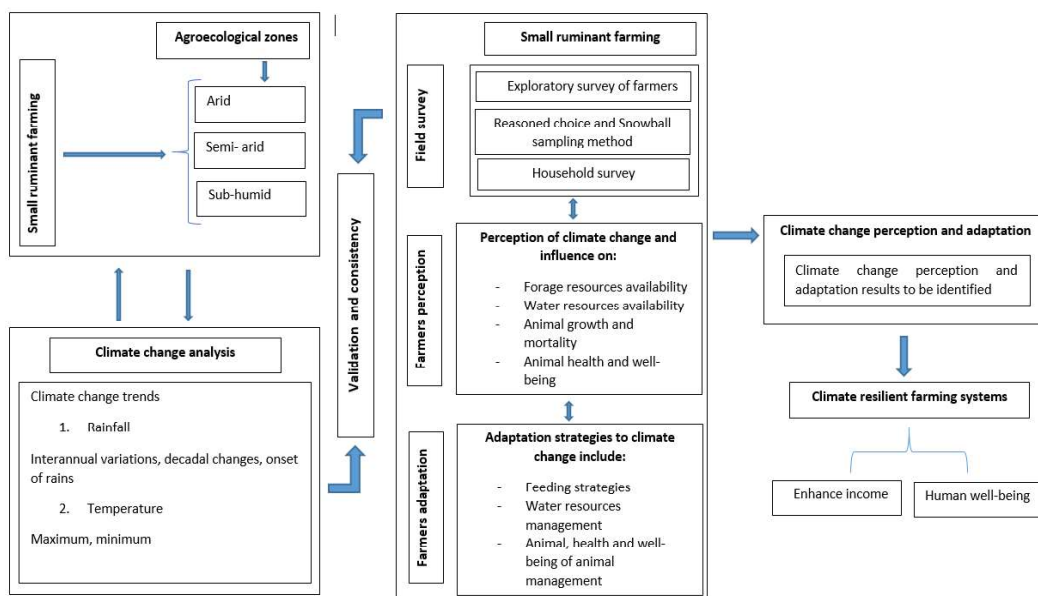


Figure 20: Conceptual framework of the study.

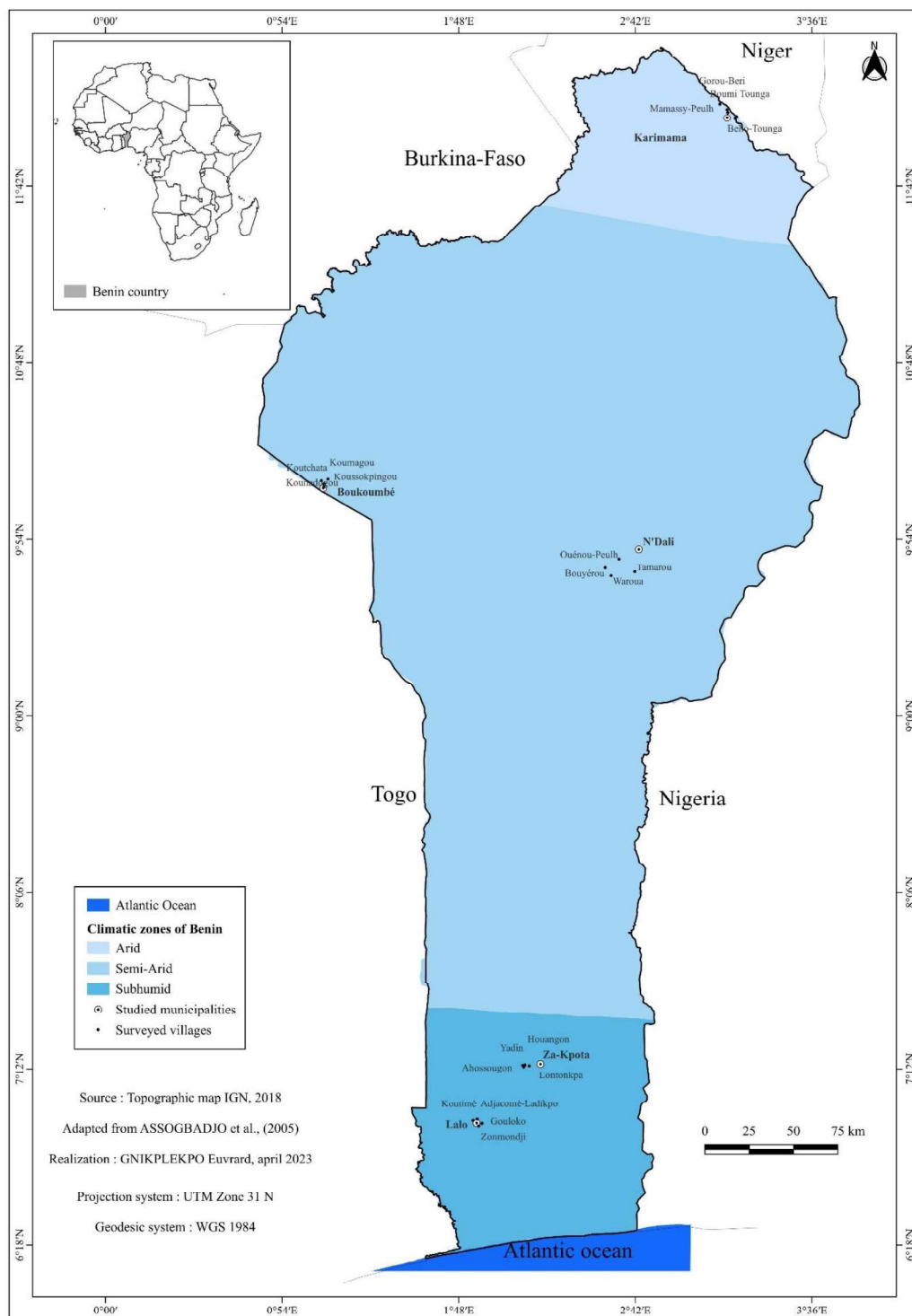


Figure 21: Map of the study area showing the surveyed municipalities in the agroecological zones

Table 2: description of the study area

Climatic zones	Agroecological zones	Surveyed municipality	Climat	Characteristics				Vegetation
				T (°C)	Rainfall (mm/year)	Altitude (m)	Soil type	
Arid	Mekrou-penjari	Karimama	Tropical (one rainy season and one dry season)	25 to 42	700 to 900	164	Ferruginous	Sparse thorny shrubby to savannah (<i>Acacia sieberiana</i>)
Semi-arid	South Borgou	N'dali	Tropical (one rainy season and one dry season)	25 to 40	1000 to 1.400	393	Very fertile alluvial deposits of the Niger River	Shrubby, tree-dominated savannah dominated by <i>Vitellaria paradoxa</i> (Shea)
	Atacora chain	Boukombé	Tropical (one rainy season and one dry season)	25 to 31	800 to 1.500	223	Tropical ferruginous	
Sub-humid	Oueme Valley	Za-kpota	Sub-equatorial (two rainy seasons and two dry seasons of unequal durations)	24 to 34	1000 to 1.600	121	Ferruginous	Gallery forest, wooded/arboreal savannah with <i>Vitellaria paradoxa</i> and <i>Parkia biglobosa</i>
	Plateau	Lalo	Sub-equatorial (two rainy seasons and two dry seasons of unequal durations)	22 to 32	1.000 to 1.500	80	Ferralitic soil	Shrubby thicket dominated by oil palms and grasses
							Vertisol, ferralitic	Semi-deciduous dense forest with large trees

Survey data collection

For this study, a survey was conducted to collect data on farmers' characteristics and perceptions, as made in previous studies (Houessou et al., 2021; Koura et al., 2024; Edoh et al., 2023). A primary list of some farmers was obtained from the locals responsible for animal production for the interview. Then, the snowball sampling method (Tchetan et al., 2021) was used to extend this list to the number required by our study. As also used in previous studies (Houessou et al., 2021; Koura et al., 2024; Falay et al., 2022), an equal number of farmers to interview per village (n=20 farmers per village) was fixed, corresponding to 80 farmers per municipality. The interviews were conducted using a semi-structured questionnaire in the local language, and translators were used when required. A data collection strategy and research method allowed interviewees to freely express their opinions and thoughts [McIntosh et al., 2015; Horton et al., 2004]. The questionnaire included, among other things, the socio-economic characteristics of households, management practices and constraints to production, breeding objectives, perception of climate change (trends in rainfall, temperature, over at least the last 30 years), impacts on production resources (animal welfare, feed and water resources, and animal health) and animal performance, and farmer coping strategies.

Climatic data collection

Climatic data (from 1990 to 2020) was assessed from the agro-climatic database of the National American Security Agency (<http://power.larc.nasa.gov>) (Figures 22-24) (NASA, 2021). The mean annual rainfall, relative humidity, and the mean temperatures of the three warmest and coldest months were calculated for each municipality. The three warmest months were January to March for the two Southern municipalities and February to April for the three others. The three coldest months were July to September for the two Southern municipalities and October to December for the three others from the North.

Data processing and statistical analysis

All the statistical analysis was performed using SPSS version 23.0 software. As in previous studies, qualitative and quantitative methods were used to analyze the data (Koura et al., 2024; Assani et al., 2024). Cross tabulation with the Pearson χ^2 statistic assessed the differences between relative frequencies according to the agroecological areas for the categorical variables. For the quantitative variables, means and standard error were calculated. The non-parametric Kruskal-Wallis test was used to explore the differences between these means according to the agroecological areas. The binary logistic regression was then used to determine the factors influencing farmers' decisions for a particular coping strategy against

climate change (Zampaligré et al., 2014). The probability that a farmer uses separately each of the following strategies: diversification of feed resources (1: yes or 0: no), feeding intensification (1: yes or 0: no), new feed resources exploring (1: yes or 0: no), forage cultivation (1: yes or 0: no); as individual strategy was predicted.

As for the choice of explanatory variables in the model, the approach consisted of a systematic search for all variables statistically linked to the dependent variable. Thus, the socio-economic determinants of the farmers that could influence the choice of future adaptation measures were predicted. Prior to each regression analysis, the Pearson correlation test was applied to identify and omit independent variables that are strongly correlated to each other. The predictor variables were the climatic and AEZ where the farm is located, the farmer's gender, age, educational level, main activity, type of farming, household size, experience in small ruminant breeding, and membership in farmers' organizations. Four logistic regressions were implemented, each of them aiming to predict one of the following strategies: "more diversification of feed resources" or "feeding intensification with supplements" as the current strategy, and "new feed resources exploration" or "forage cultivation" as a future strategy.

The binary logistic regression model makes it possible to predict the membership of a predefined class from the series of predictors. As a general rule, the dependent variable is binary or dichotomous. It can be 1 (group member) with a probability of success of P or 0 (non-member) with a failure probability of $1-P$. The relationship between the dependent and independent variables is not a linear function. Instead, the logistic regression function is used, which is the logit transformation of y :

$$\text{Logit } [y(x)] = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i$$

Where α = the constant of the equation and β = the coefficient of the independent variables.

The model considers the relationship between a binary dependent variable (Y) and a set of independent variables (X_i). In the logistic regression procedure, the analysis begins with a complete model, including all variables. Then, variables that are not useful for predicting the dependent variable are eliminated from the model. The analysis is completed when no variables can be eliminated from the model. The signs of the coefficients indicate the direction of the relationship between the independent variables and the dependent variable.

The Hosmer and likelihood ratio tests allowed us to assess the model's overall fit. In the logit model, the signs of the coefficients (β_j) reported in the resulting regression informed about the plausibility of the relationship between the strategy variable of interest and the explanatory

variables introduced in the model. The degree of dependence between the variables was measured using the odds ratio (OR). The latter was defined as the ratio of probabilities that measured the link between characteristic X and the occurrence of event Y. Consequently, if $OR = 1$, event Y and variable X were independent; if $OR > 1$, the link between Y and X was positive, and negative, if $OR < 1$.

Results and discussion

Climate data variation in the agroecological zones

Figures 22, 23, and 24 showed the evolution of rainfall, temperature, and relative humidity from 1990 to 2020 in the studied AEZ; as expected, these parameters varied across the zones. Rainfall was higher in Atacora chain and Oueme Valley, and lowest in Mekrou-penjari (extreme North). In this AEZ, rainfall hardly reached 900 mm/year, and the lowest values observed were about 600 mm/year (1993, 2001, 2004, 2011, and 2016). Rainfalls above 1,500 mm/year were frequently observed in Oueme Valley and, in recent years, in the Atacora chain. The Northern climatic zones (arid and semi-arid) presented the highest mean temperatures of the three warmest months, ranging from 36°C to 41°C, with the topmost values in 1998, 2006, and 2015. The same AEZ presented the lowest mean temperatures of the three coldest months. Relative humidity increased from the North (arid zone) to the South (sub-humid zone) of Benin. Our findings about variation in climatic data across different AEZ zones of Benin were confirmed by previous studies' authors (Kingbo et al., 2022; Lantokpodé et al., 2022; Dossoumou et al., 2023) and attested to the reality of climate change, confirming the climate change.

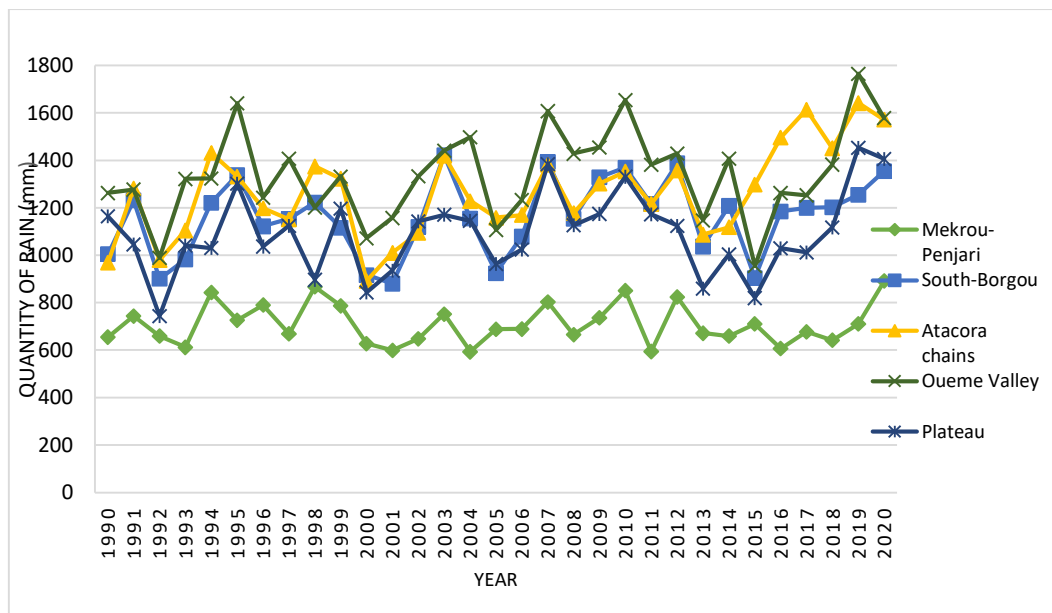


Figure 22: Mean annual rainfall in five agroecological zones in Benin from 1990 to 2020 (National American Security Agency, 2021).

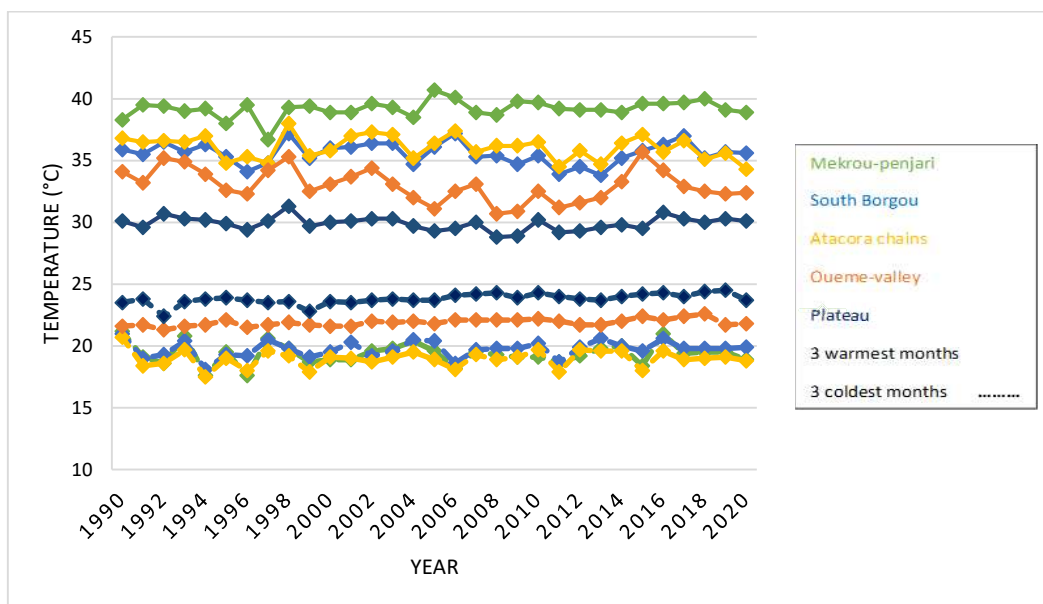


Figure 23: Mean temperature of the three warmest months and the three coldest months per year in five agroecological zones in Benin from 1990 to 2020 (National American Security Agency, 2021).

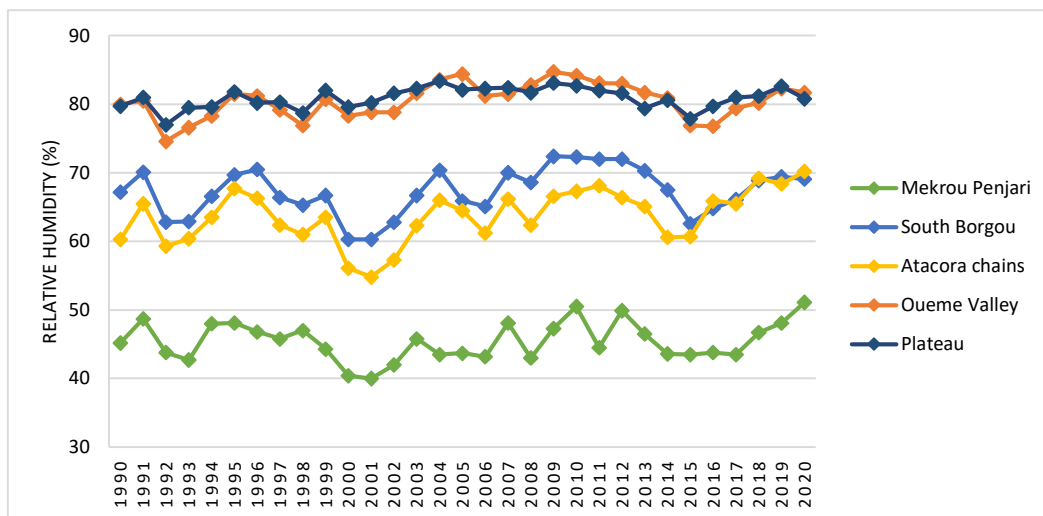


Figure 24: Mean annual relative humidity trend across the five agroecological zones from 1990 to 2020 (National American Security Agency, 2021)

Socio-demographic characteristics of the small ruminant farmers

Except for age, all socio-demographic parameters shown in Table 3 were significantly different ($P < 0.05$) across the AEZ. Most farmers in all AEZ were men; women were the most represented in Plateau AEZ (40%). Women were more involved in small ruminant keeping in Southern Benin, mainly in Plateau AEZ, which agrees with previous findings in South Benin (Dossa et al., 2008). Dendi and Peulh ethnic groups were present in the Northeastern part of Benin, Ditamari in the northwestern part (mountainous region), and Fon and Adja in the Southern part. Consequently, as the religion varies according to the ethnic groups, Islam was mainly represented in the Northeastern part of the country and the local religion in the other regions. Farmers were generally uneducated except in the Plateau AEZ, where 52.5% of the farmers had attended primary school. Farmers in Southern Benin and Atacora chain AEZ were animists; as expected, they were involved in goat farming. Therefore, our results followed the multifunctional roles of small ruminant keeping, including the use for cultural ceremonies (Dagnew et al., 2017). Agriculture was the main activity of farmers, with differences according to the AEZ. In the Mekrou-penjari and Sud Borgou AEZ, at least one in four farmers were farmers, which was the main profession, and they had the longest breeding experience and household size. Agriculture is the primary activity for most farmers. As confirmed by findings in other African countries (Houessou et al., 2021; Ojango et al., 2016; Shidiki et al., 2017; Fantahun et al., (2017), livestock farmers practiced other activities like trading for income diversification. However, most farmers interviewed in our study areas did not belong to a farmer's association.

Table 3: Socio-demographic characteristics of small ruminant farmers in five agroecological zones of Benin

Variables	Modalities	Agroecological zones					Chi2	P value
		Mekrou-penjadi (n=80)	South-Borgou (n=80)	Chain Atacora (n=80)	Oueme Valley (n=80)	Plateau (n=80)		
Nominal variable (Frequency, %)								
Gender	Man	97.5	83.8	85.0	83.8	60.0	861.48	0.001
	Woman	2.5	16.2	15.0	16.2	40.0		
Ethnic	Adja	0.0	0.0	0.0	0.0	92.5	2523.75	0.001
	Fon	0.0	0.0	0.0	100.0	7.5		
	Dendi	75.0	45.0	0.0	0.0	0.0		
	Ditamari	0.0	1.3	100.0	0.0	0.0		
	Peulh	25.0	51.2	0.0	0.0	0.0		
	Others (Sahoue, Yoruba, Betamaribe)	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0		
Religion	Christian	0.0	12.5	7.5	25.0	16.3	1300.2	0.001
	Islam	100.0	86.3	0.0	0.0	7.5		
	Local religion (i.e. animism)	0.0	1.3	92.5	75.0	76.2		
Education	Primary	2.5	8.8	6.3	0.0	52.5	916.9	0.001
	Secondary	1.3	2.5	2.5	0.0	15.0		
	Others (university, religious, etc.)	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3		
	None	96.3	88.8	91.3	100.0	31.2		
Main activity of the farmer	Agriculture	47.5	41.3	83.8	43.8	25.0	866.62	<0.001
	Agriculture and livestock farming	8.8	17.5	2.5	17.5	17.5		
	Livestock farming	25.0	31.3	1.3	5.0	2.5		
	Trading	8.8	7.5	5.0	23.8	26.3		
	Other activities (crafting, fishing, transport, transformation)	10.0	2.5	7.5	10.0	28.7		
Membership in farmer association	Yes	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	10.83	0.029
	No	95.0	100.0	97.5	100.0	100.0		

Numeric variables (Mean and Standard Error)

Age of the farmer (year)	45.8±11.4	48.2±14.5	45.3±11.7	47.1±11.5	47.7±13.5	0.71
Experience in small ruminants' breeding (year)	17.2 ^a ±1.0	18.2 ^a ±1.3	13.0 ^b ±0.9	10.4 ^c ±0.9	14.3 ^b ±0.9	0.001
Household size	9.3 ^{ab} ±0.6	10.2 ^a ±0.6	8.4 ^{ab} ±0.4	8.3 ^b ±0.5	8.9 ^{ab} ±0.5	0.029

Small ruminant production characteristics

Goat farmers (n= 213; 53.3%) were the most represented, followed by mixed goat-sheep farmers (n=148; 37.0%) and sheep farmers (n= 39; 9.8%). All the production characteristics of small ruminants varied significantly ($p<0.05$) according to the AEZ (Table 4). The Sahelian sheep and goat breeds were almost exclusively kept in the arid area (Mekrou-penjari AEZ), while the Djallonke sheep and goat breeds were present in the four other AEZ. In the Northeastern AEZ, mixed herds (sheep and goats) represented the highest proportion of farming (76% in Mekrou-penjari and 60% in South Borgou). In the three other AEZ, goat herds were common. Sheep, goat, and mixed (sheep-goat) flock sizes varied significantly according to AEZ, with the highest values of Tropical Livestock Unit (TLU - corresponding to an animal of 250 Kg) (1.5 TLU, 1.8 TLU, 2.8 TLU) found in South Borgou AEZ. In Northeastern Benin (Mekrou-penjari and South-Borgou AEZ), livestock keeping was a primary activity for more than 33% of the farmers who were from the Muslim religion. This confirms the livestock breeding orientation of Muslims in semi-arid and arid areas in Benin, as noticed in other West African countries (Houessou et al., 2021). However, more traders were reported in Southern regions (Oueme Valley and Plateau AEZ). Previous studies [Dossa et al., 2008; Houessou et al., 2021) confirmed this finding, arguing that few goat numbers are kept as savings in traditional farms.

In Northeast Benin, mixed (sheep-goat) herds were kept. Indeed, Muslim farmers preferred sheep in addition to their goat herd, as mentioned by Yusuf et al., (2018). This is due to its higher price in the market and the possible use for Muslim feasts. Djallonke and Shaelian breeds were kept in the various AEZ, confirming previous findings in West Africa (Missohou et al., 2016; Yusuf et al., 2018). Sahelian sheep were preferred in Northeast areas, as these areas have characteristics similar to those of the Sahelian zone. Also, there was frequent mobility of transhumant herds from Niger and Burkina-Faso in these areas, from which this breed was introduced. Poultry was present in 67% of farms in all AEZ, while pigs were encountered almost exclusively in the Atacora chain AEZ and cattle in the three Northern AEZ. All small ruminants had access to natural pasture resources for at least one part of the year in all AEZ. Except in the Arid AEZ, about 75% of farms in other AEZ are used to supplement the animals during the dry and/or rainy seasons with agro-industrial by-products and crop residues in single-use or combination. Almost all farmers in the Oueme Valley AEZ managed animal health care themselves. In the four other AEZ, 75% of farmers used veterinary agents, exclusively or not, for health care. Regarding herd size and cultivated crop area, the arid and semi-arid areas in the North presented the most crowded herds. In contrast, the lowest cultivation surface areas were found in Plateau AEZ (1.1 ha) and the highest (7.0 ha) in South

Borgou AEZ. These characteristics are similar to findings by several authors (Edoh et al., 2023; Assani et al., 2024).

Table 4: Small ruminant production characteristics in five agroecological zones studied (% of interviewed).

Variables	Modalities	Agroecological zones					Chi2	P value
		Mekrou- penjari (n= 80)	South- Borgou (n=80)	Atacora Chain (n=80)	Oueme Valley (n=80)	Plateau (n=80)		
		Nominal variable (Frequency, %)						
Small ruminants farming Sheep breeds	Djallonke Sahelian Both	0.0	91.2	98.7	100	100	491.74	<0.001
		97.5	6.3	1.3	0.0	0.0		
		2.5	2.5	0.0	0.0	0.0		
Goat breeds	Djallonke Sahelian Both	2.5	97.4	95.0	100.0	100.0	379.22	<0.001
		95.0	1.3	5.0	0.0	0.0		
		2.5	1.3	0.0	0.0	0.0		
Farm type	Goat farming Sheep farming Mixed sheep and goat farming	11.3	7.5	66.3	96.3	85.0	245.59	0.001
		12.5	32.5	2.5	0.0	1.3		
		76.3	60.0	31.3	3.8	13.8		
Other animals kept	Poultry Pig Cattle	67.5	58.8	83.8	61.3	60.0	665.54	<0.001
		0.0	3.8	68.8	10.0	7.5	925.61	<0.001
		63.7	60.0	20.0	0.0	0.0	887.03	<0.001
Feeding strategy Feeding pattern of small ruminant	Natural pasture only Natural supplements and	0.0	20.0	27.5	31.3	17.5	689.35	<0.001
		100.0	80.0	72.5	68.8	82.5		
Supplementary feed in the dry season	By-products Crop residues Both None	0.0	27.5	3.8	45.0	80.0	271.41	<0.001
		28.7	5.0	30.0	7.5	0.0		
		71.3	41.3	38.8	5.0	2.5		
Supplementary feed in the rainy season	By products Crop residues Both None	0.0	26.3	27.5	42.5	17.5	140.73	<0.001
		15.0	32.5	7.5	55.0	77.5		
		5.0	15.0	1.3	3.8	0.0		
	Both	3.8	5.0	8.8	5.0	0.0		
	None	76.3	47.5	82.5	36.3	22.5		
	BFarmer	23.8	23.8	25.0	96.3	28.7	1072.56	<0.001

Healthcare pattern of small ruminant	Veterinary Both Farmer and veterinary None	6.3 68.8 1.3	46.3 30.0 0.0	28.7 18.8 27.5	2.5 0.0 1.3	22.5 47.5 1.3
Numeric variables (Mean and Standard Error)						
Goat flock size (TLU)		0.7bc±0.6	1.5a±0.4	0.7b±0.1	0.6c±0.0	0.7bc±0.1
Sheep flock size (TLU)		1.0±0.2	1.8±0.2	1.1±0.0	0.0±0.0	0.8±0.0
Mixed flock size (TLU)		1.6b±0.2	2.8a±0.2	2.1b±0.6	2.0ab±0.4	1.1b±0.2
Global flock size (TLU)		1.4b±0.2	2.4a±0.2	1.2b±0.2	0.6d±0.0	0.7c±0.1
Cultivation surface area (Ha)		5.9 ^a ±0.3 n= 80	7.0 ^a ±0.6 n= 76	3.9 ^b ±0.2 n=78	3.4 ^c ±0.4 n=57	1.1 ^c ±0.1 n=60
						0.001 0.077 0.001 0.001 0.001

Small ruminant farmers' perception of climate change and its causes

Table 5 showed small ruminant farmers' perceptions of climate change; all parameters differed significantly ($p < 0.01$). At least 90% of farmers in all AEZ acknowledged an ongoing change in the climate in their environment. About 50% of those farmers experienced rain delays, except in the Atacora chain AEZ, where 33% of farmers mentioned earlier rains. In the AEZ from arid and semi-arid zones (Mekrou-penjari, South-Borgou, and Atacora chain), about 40% of farmers perceived a decreasing trend in rainfalls. Few farmers mentioned more frequent stormy rains in the last 30 years, mainly in the Atacora chain and Plateau AEZ. Among all the climatic factors, rainfall and temperature are two important parameters that guide agricultural and pastoral activities in the Beninese context. Thus, comparisons between the perceptions of the farmers and the actual data obtained were made to assess their accuracy.

Farmers had different ways of understanding the changes occurring in the climate of their areas, as shown in previous studies (Alemayehu et al., 2022; Djohy et al., 2021; Abazinab et al., 2022). Most of the farmers accurately described the climate in their AEZ, as increased rainfalls and no change in temperature were mentioned by most of the farmers, which was in agreement with meteorological data. The temperature variation was also less perceived by the farmers. This is consistent with findings in other rural communities (Agossou et al., 2012; Abraham et al., 2019; Worogo et al., 2020); farmers could understand rainfall patterns.

The farmers accurately described the climate in Northern Benin AEZ as climatic data confirmed low rainfalls; in recent years, rains increased in the Atacora chain and Southern Borgou. As stated by farmers, lower rainfalls were found in Mekrou-penjari, but this did not mean a decreasing trend. Indeed, farmers may not have enough experience describing the trend in this climate parameter, but they could explain how they think these parameters are in their areas (Zanou et al., 2022; Gbemavo et al., 2021). Farmers think there are no temperature changes in the arid and semi-arid zones, which is confirmed by meteorological data. Previous studies have demonstrated the capacity of farmers to understand and predict the weather in their area (Djohy et al., 2021). However, some farmers in Plateau AEZ were less good at understanding changes occurring in their areas. Indeed, they recognized an increase in temperature that did not match the meteorological data.

Our results emphasize other components of these climatic parameters, which revealed stormy rains, floods, and drought frequency. Except in the Plateau AEZ, at least 60% of farmers mentioned less drought periods during the rainy seasons. Indeed, drought periods could be a significant source of animal stress affecting their physiology (Nardone et al., 2010). These less frequent drought periods in the rainy season are good because they could positively affect

pasture development and increase biomass availability (Koura et al., 2015), thus improving animal productivity in most farms. Some Farmers in the sub-humid area, i.e., Oueme Valley and Plateau AEZ, perceived more flood occurrences that could reduce accessibility to grazing lands, as found by Koura et al. (2015). An increase in sunshine duration was acknowledged, more in the South Borgou and Plateau AEZ. Only farmers in Plateau (60%) and Oueme Valley (10%) thought the temperature had increased over the last 30 years.

According to the farmers in semi-arid zones, these changes were mainly due to anthropogenic actions, while the other zones mainly related climate change to God's anger due to human misconduct or no respect for social/natural rules. This is consistent with previous studies in West African countries (Gbemavo et al., 2021) stating that farmers in Benin related climate changes to anthropogenic actions or God's wrath. The recognition by farmers of climate change as a consequence of their actions (deforestation and social rules transgression) is also well documented (Gbemavo et al., 2021) and could be a factor for changes in their practices.

Table 5: Perceptions and causes of climate change according to small ruminant farmers in five agroecological zones of Benin.

Variables		Agroecological zones					Chi2	P value
		Mekrou-penjadi	South-Borgou	Chain Atacora	Oueme Valley	Plateau		
Nominal variable (Frequency, %)								
n		80	80	80	80	80		
Perception of climate change	Yes	93.8	98.8	98.8	90.0	98.8	13.28	0.010
	No	6.2	1.2	1.2	10.0	1.2		
n		75	79	79	72	79		
Onset of rains	Delayed	52.5	78.8	41.3	72.5	67.5	52.47	<0.001
	Earlier	11.2	10.0	32.4	6.2	17.5		
	No change	36.3	11.2	26.3	21.3	15.0		
Rainfall	Increasing	51.2	63.7	60.0	83.7	88.6	57.62	<0.001
	Decreasing	42.5	35.0	38.7	6.3	11.4		
	No change	6.3	1.3	1.3	10.0	0.0		
Stormy rain	More frequent	0.0	0.0	7.5	0.0	2.5	30.19	<0.001
	Less frequent	93.7	98.7	91.2	90.0	96.2		
	No change	6.3	1.3	1.3	10.0	1.3		
Flood frequency	Increasing	93.8	98.8	98.8	81.3	93.8	33.10	<0.001
	Decreasing	0.0	0.0	0.0	8.7	5.0		
	No change	6.2	1.2	1.2	10.0	1.2		
Drought periods during rainy seasons	More frequent	28.7	36.3	25.0	16.3	65.0	57.24	<0.001
	Less frequent	65.0	62.5	73.8	73.8	33.8		
	No change	6.3	1.3	1.3	10.0	1.3		
Sunshine duration	Increasing	20.0	32.5	21.3	21.3	40.0	21.56	0.006
	Decreasing	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5		
	No change	80.0	67.5	78.7	78.7	57.5		
Temperature	Increasing	0.0	0.0	0.0	10.0	61.3	185.69	<0.001
	Decreasing	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	No change	100.0	100.0	100	90.0	38.8		

Causes of climate change	Anthropogenic actions	20.0	55.0	38.8	8.8	3.8	213.85	0.001
	Social laws	47.6	18.8	25.1	50.1	56.3		
	transgression and God's anger							
	Anthropogenic actions and God's anger	7.5	3.8	1.3	13.8	30.0		
	Unknown causes	25.1	22.6	35.1	27.5	10.1		

Small ruminant farmers' perception of the impacts of climate change on their production

The main impacts (Table 6) of climate change reported by farmers were decreased natural grazing and water availability. Consequently, some negative effects on animal growth, mortality, health, and well-being were reported. This perception varied between AEZ. In Oueme Valley, all the farmers reported a lower water availability against only 40% for the low pasture availability, while only 54% of farmers from the Atacora chain reported a negative impact on water availability.

According to the farmers interviewed, climate change negatively impacts grasslands and water availability, decreasing pasture production and forage quality, as mentioned also in literature (Leister et al., 2015; Hamilton et al., 2016). As grazing in the natural pasture is the primary feeding strategy in West African countries (Dahouda et al., 2019; Houessou et al., 2021), animals were affected by its low availability and quality due to climatic stress. Indeed, lower forage quality means that animals may not fulfill the energy required to maintain their body weight (Nardone et al., 2010). In particular, the negative effect on daily weight gain and feed conversion is acknowledged (Rust et al., 2013; Gaughan et al., 2015; Hristov et al., 2017).

Water and land resources are key inputs in livestock production systems (Thornton et al., 2009; Herrero et al., 2015). In particular, more drought periods during the rainy season and rain delays in most AEZ, coupled with land degradation (Lesse, 2016), could enhance the impact of climatic changes. In the worst case, this could lead to the disappearance of plant resources that are less resilient to water stress, as reported in Southern Benin (Koura et al., 2015). Moreover, the nutritional imbalance of small ruminants increases disease frequency, affects animal immunity, and possibly leads to higher mortality.

According to the majority of farmers, the duration of sunshine has not changed, which is favorable to the proper functioning of the animal organism there is less heat stress (Lesse et al., 2016; Akponikpè et al. 2010).

Animals in the Northern Benin areas (Mekrou-penjari, South Borgou, and Atacora chain AEZ) experienced the hottest in the dry season and the coldest temperature in the rainy season. Heat stress alters sheep and goats' physiology, making them susceptible to disease and stress (Hansen et al., 2011). Reproductive performance, such as decreased fertility, conception rate, longevity, and meat quality, may be affected (Salama et al., 2014). Heat stress could be considered the most detrimental factor for the economy of small ruminant production (Seijan et al., 2017), affecting the livelihood of the poor farmers in West Africa.

Table 6: Impacts perceived by the small ruminant farmers of climate change in five agroecological zones of Benin.

Variables			Agroecological zones					Chi2	P value
			Mekrou-penjari (n=75)	South Borgou (n=79)	Chain Atacora (n=79)	Oueme Valley (n=72)	Plateau (n=79)		
Nominal variable (Frequency, %)									
Natural grazing availability	Positive effects		5.0	1.3	12.5	3.8	1.3	106.03	<0.001
	Negative effects		62.5	86.3	77.5	40.0	86.3		
	No effects		32.5	12.5	10.0	56.2	12.5		
Animal growth	Positive effects		2.5	0.0	13.8	0.0	0.0	69.38	<0.001
	Negative effects		27.5	45.0	35.0	18.8	58.8		
	No effects		70.0	55.0	51.2	81.2	41.2		
Animal mortality	Positive effects		0.0	0.0	1.3	0.0	1.3	35.91	<0.001
	Negative effects		8.8	15.0	22.5	21.3	43.8		
	No effects		91.3	85.0	76.2	78.8	55.0		
Animal health and well-being	Positive effects		1.3	0.0	16.3	0.0	0.0	74.76	<0.001
	Negative effects		56.3	31.3	18.8	25.0	41.3		
	No effects		42.4	68.7	64.9	75.0	58.7		
Water availability	Positive effects		0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	80.09	<0.001
	Negative effects		85.0	66.3	53.8	100	93.7		
	No effects		15.0	33.7	46.3	0.0	5.0		

P: probability

Small ruminant farmers' current coping strategies to climate change

Adaptation refers to adjustments in environmental systems in response to observed or expected changes in climatic stimuli (Below et al., 2012). Table 7 summarizes adaptation strategies to climate change currently used or to be used in the future by farmers. The diversification of feed resources was the most popular current solution to cope with the perceived impacts of climate change. Its implementation varied from one AEZ to another, from

88 % to about 43 % and 36 % of farmers in the Plateau, the Oueme Valley, and the Atacora chain, respectively. The two more frequently reported current adaptation measures encountered in the three Northern AEZ were increasing free wandering (28.4 % for all three AEZ) and feeding intensification (average 25.4 % for all three AEZ). Most farmers did not cite herd size reduction (average 4.3 % across all AEZ), forage conservation (average 3.1 % across all AEZ, except in Mekrou-penjari AEZ (20 %)), veterinary care (highest value was 10 % in Oueme Valley AEZ), and frequent watering (highest value was 15 % in Atacora chain AEZ) as present-day solutions.

Diversification of feed resources is a good option and the most used strategy. Using a mix of fodders, agro-processing by-products, crop residues, and cereal grain, as also suggested by other authors (Dimon et al., 2022; Montcho et al., 2018), may allow the animals to have a diversity of nutrients, enhancing the chance to cover their nutritional requirements. Tree and shrub leaves provide some phytochemical components that could improve the digestibility of poor grass grazed (Montcho et al., 2018). However, over-utilization of range fodder plants like *Azalia africana*, *Pterocarpus erinaceus*, and *K. senegalensis* has decreased the population number (Adomou et al., 2009; Sewadé et al., 2016); thus, farmers should be advised to use the existing population of fodder trees sustainably. Increasing agro-processing by-products (corn bran, soybean bran, cotton cake, cassava peelings) utilization is a well-known strategy (Montcho et al., 2018) that could sustain production by smallholders and participate in a circular economy. Crop residues (cereal straw, cowpea haulm, peanut haulm) are well-utilized in semi-arid and arid areas (Dahouda et al., 2019; Diogo et al., 2019), and this strategy allows nutrient cycling in farms. The free grazing of small ruminants is the least demanding measure regarding resource allocation (material, human, and financial) and allows animals to access forage resources independently. However, the downside of this measure is also significant as animals are more exposed to disease, predation, and theft, and conflicts with crop farmers frequently happen. In addition, the continuous degradation of natural pastures and soils due to cattle overgrazing, soil compaction, and erosion will no longer guarantee the provision of animals with sufficient and quality feed (Lesse et al., 2016).

Moreover, some farmers tried intensifying their production through systematic supplementation with agro-processing by-products or concentrate. Many previous studies have shown farmers' resistance to this strategy (Montcho et al., 2018) due to the high cost of supplements. Few farmers practice forage conservation, though this is a major strategy reported in semi-arid and arid areas to cope with climatic change (Ouédraogo et al., 2021). It seemed transportation issues might have limited this strategy. Moreover, farmers should be aware of the nutritional

characteristics of all these feed resources and trained to optimize their use in animal nutrition (Feleke et al., 2016).

Tableau 7: Current and future adaptation measures cited by small ruminant farmers against climate change in the five agroecological zones.

Variables	Agroecological zones					Chi2	P value
	Mekrou-penjari (n=75)	South Borgou (n=72)	Atacora chain (n=79)	Oueme Valley (n=72)	Plateau (n=79)		
Nominal variable (Frequency, %)							
More free wandering	Currently In the future	20.0 3.8	38.8 5.0	13.8 8.8	35.0 0.0	17.43 11.35	0.002 0.023
More diversification of feed resources	Currently In the future	63.7 22.5	36.3 20.0	42.5 17.5	87.5 6.3	52.89 10.10	<0.001 0.039
Feeding intensification with supplements	Currently In the future	27.5 12.5	13.8 8.8	5.0 5.0	2.5 12.5	45.83 3.46	<0.001 0.485
Herd size reduction	Currently In the future	1.3 5.0	8.8 7.5	2.5 1.3	3.8 13.2	6.51 13.92	0.164 0.008
Forage conservation	Currently In the future	20.0 12.5	3.8 0.0	2.5 0.0	3.8 5.0	30.20 28.42	<0.001 0.062
More veterinary care	Currently	1.3	7.5	10.0	3.8	8.95	0.007
More frequent watering	Currently	3.8	15.0	6.3	1.2	14.15	<0.001
New feed resources exploration	In the future	13.8	12.5	2.5	33.8	41.40	<0.001
Forage cultivation	In the future	2.5	6.3	0.0	7.4	10.25	0.036

Small ruminant farmers' future coping strategies to climate change

In the future, if climate change aggravation occurs, some farmers will adopt or expand mitigation measures (table 7). The most cited strategies were either more diversification of feed resources (6 % to 22.5 % of farmers, according to the AEZ) or feeding intensification with supplements (5 % to 12.5 % of farmers, according to the AEZ). Other strategies were herd size reduction (2.5 % to 13 % of farmers according to the AEZ) and exploration of new feed resources (2.5 % to 34 % of farmers according to the AEZ). Farmers even mentioned forage cultivation as an adaptive strategy to feed scarcity due to climatic change.

Farmers were aware that the different commonly used feed resources were being reduced and that it was important to adopt other strategies, such as looking for new feed resources or forage cultivation in the future. Farmers in Oueme Valley, an area with higher humidity and rainfall than the other areas, likely will adopt both strategies. However, forage cropping was often constrained by limited financial means and land availability, arguing the need for financial support or credit (Kabore et al., 2019) to help those farmers adapt further to climate change. Indeed, farmers with higher income sources were about to adopt forage cultivation [89]. In addition, farmers need to be trained in the production, conservation, and rational use of different fodder resources cultivated.

Farmers acknowledged the need to look for new feedstuffs in animal nutrition, consistent with findings in the literature (Salem, 2010). New feed resource exploration, like under-known or underutilized feeds or forage, is essential to limit the pressure on conventional feeds. However, this issue should be supported by scientific data on the nutritional value of new feedstuff available in various areas. Furthermore, actions should increase farmers' access to climate information and adaptive options. Currently, most farmers lack a network for sharing information and various experiences for adapting to climate change. However, such networks are crucial for increasing the adoption of coping strategies (Ifeanyichukwu et al., 2019).

Moreover, local and tolerant breeds were utilized by farmers in the different AEZ of Benin and have been acknowledged to have better adaptive capability in extreme environmental conditions (high temperature, feed scarcity, water scarcity) (Joy et al., 2020; Shilja et al., 2016). Indeed, indigenous sheep and goat breeds display higher thermos-tolerance to extreme temperatures (Prasad et al., 2015; Samara et al., 2016). Therefore, farmers could be trained in good feeding and watering practices to improve feed intake and animal utilization under heat stress (Ayantunde et al., 2020).

Determinants of farmers' adoption of coping strategies

The backward logistic regression was used to predict factors influencing the use of a particular current strategy as an individual, such as diversification of feed resources and feeding intensification (Tables 8 and 9). Future strategies like new feed resource exploration or forage cropping (Tables 10 and 11) were also predicted. Adaptation measure "Diversification of feed resources" referred to using different forage resources and supplements randomly from one day to another, according to their availability in the farm and surrounding areas. "Feeding intensification" consisted of the compulsory use of supplements (by-products or concentrate) in animal diets. "New feed resources exploring" reflected the search by livestock farmers for non-conventional or little-known feed resources for feeding small ruminants. In contrast, "Forage cultivation" reflected livestock farmers' desire to use forage cropping to feed their animals.

All four prediction full model tables (8-11) were statistically significant, indicating that the predictors as a whole reliably distinguish farmers that adopted or not a current or future measure face the effects of climate change. The Nagelkerke R^2 values and Hosmer and Lemeshow's test's non-significance confirmed the regression models' validity.

Results showed that the farmer's education level, the climatic zone where the farm is located, and the household size were the key factors influencing the adoption of diversification of feed resources as a current strategy. The probability of adoption of feed diversification was positively influenced by the household size ($\beta=0.120$, $\text{Exp}(\beta)=1.128$, $p < 0.001$) and negatively influenced by the climatic zone other than the arid zone ($\beta=-0.855$, $\text{Exp}(\beta)=425$, $p < 0.001$). It was higher when the farmer had no formal education ($\beta=-1.837$, $\text{Exp}(\beta)=159$, $p < 0.001$).

On the other hand, being a woman farmer or practicing agriculture and other activities ($\beta=1.392$, $\text{Exp}(\beta)=4.025$, $p < 0.001$), and owning goat farms ($\beta=0.976$, $\text{Exp}(\beta)=2.655$, $p < 0.01$), had a positive influence in the adoption of feeding intensification as a strategy. These women had multiple sources of income (agriculture, trading, and livestock breeding) and could reinvest their money in livestock keeping by buying high-quality feeds. Some authors point out the importance of the farmer's income level in adopting technologies, particularly in the choice of a coping strategy for climate change (Lesse et al., 2016; Montcho et al., 2018; Feleke et al., 2016). However, our study showed that only goat farmers were more interested in this strategy. Indeed, goats farming is more common and these animals have lower nutritional requirements (Kawas et al., 2010), which could be covered with fewer supplements.

Regarding farmers' future strategy, the adoption of exploration of new feed resources was determined by the farmer's gender and the AEZ. The probability of adopting this strategy was 0.997 greater when the farmer was a woman ($\beta = -0.997$, $\text{Exp}(\beta) = 0.369$, $p < 0.05$) and when the farms were located in the Oueme Valley AEZ ($\beta = 1.502$, $\text{Exp}(\beta) = 4.489$, $p < 0.001$).

The agroecological location ($\beta = 2.632$, $\text{Exp}(\beta) = 13.908$, $p < 0.01$) and farmers' main activity ($\beta = 1.983$, $\text{Exp}(\beta) = 7.262$, $p < 0.01$) were factors that positively affected farmers' willingness to adopt forage cultivation. A farmer was more likely to adopt forage cultivation if his farm was located in Oueme Valley and he practiced agriculture and other activities as his main occupations.

Table 8: Binary logistic regression results on predicting “diversification of feed resources” as a current adaptive strategy.

Diversification of feed resources	β	S.E. of β	Wald	df	P value	$\text{Exp}(\beta)$
Constant	1.295	0.510	6.444	1	0.011	3.650
Education level			20.75	3	0.000	
Education level (primary)	-0.922	0.673	1.873	1	0.171	0.398
Education level (secondary)	-22.73	40192	0.000	1	1.000	0.000
Education level (other)	-1.837	0.419	19.27	1	0.000	0.159
Climatic zones			10.636	2	0.005	
Climatic zones (arid)	-0.855	0.293	8.547	1	0.003	0.425
Climatic zones (semi-arid)	-0.247	0.306	.652	1	0.420	0.781
Household size	0.120	0.028	17.812	1	0.000	1.128
Overall model evaluation (modèle x2)		57.51		6	0.000	
Goodness of fit test (Hosner and Lemeshow)		19.49		8	0.012	
-2 log likelihood		487.98				
-Cox and Snell R2		0.13				
Nagelkerke R2		0.18				

Table 9: Binary logistic regression results on predicting “feeding intensification with supplements” as a current adaptive strategy.

Feeding intensification	β	S.E. of β	Wald	df	P value	Exp(β)
Constant	-1.988	0.313	40.38	1	0.000	0.137
Main activity of farmer			21.91	4	0.000	
Main activity of farmer (agriculture)	-1.210	0.762	2.522	1	0.112	0.298
Main activity of farmer (other)	0.693	0.591	1.371	1	0.242	1.999
Main activity of farmer (trade)	-0.468	0.528	0.786	1	0.375	0.626
Main activity of farmer (agriculture and other)	1.392	0.370	14.15	1	0.000	4.025
Gender of farmer (man)	-1.440	0.566	6.481	1	0.011	0.237
Type of farming			11.63	2	0.003	
Type of farming (goat)	0.976	0.346	7.972	1	0.005	2.655
Type of farming (goat-sheep)	-0.568	0.688	0.683	1	0.409	0.567
Overall model evaluation (modèle x2)	67.66			7	0.000	
Goodness of fit test (Hosner and Lemeshow)	8.24			7	0.31	
-2 log likelihood	293.86					
-Cox and Snell R2	0.16					
Nagelkerke R2	0.26					

Table 10: Binary logistic regression results on predicting “new feed resources exploration” as a future adaptive strategy.

New feed resources exploring	β	S.E. of β	Wald	df	P value	Exp(β)
Constant	-1.819	0.325	31.33	1	0.000	0.162
Gender of farmer (Man)	-0.997	0.444	5.047	1	0.025	0.369
Agroecological zones			34.40	4	0.000	
Agroecological zones (Mekrou-penjari)	-1.014	0.609	2.776	1	0.096	0.363
Agroecological zones (South-Borgou)	-0.019	0.471	0.002	1	0.967	0.981
Agroecological zones (Atacora chains)	-1.151	0.830	1.925	1	0.165	0.316
Agroecological zones (Oueme Valley)	1.502	0.427	12.37	1	0.000	4.489
Overall model evaluation (modèle x2)	45.06			5	0.000	
Goodness of fit test (Hosner and Lemeshow)	0.12			5	1.0	
-2 log likelihood	271.56					
-Cox and Snell R2	0.11					
Nagelkerke R2	0.20					

Table 11: Binary logistic regression results on predicting “forage cultivation” as a future adaptive strategy.

Forage cultivation	β	S.E. of β	Wald	df	P value	Exp(β)
Constant	-4.493	0.894	25.27	1	0.000	0.011
Main activity of farmer			12.02	4	0.017	
Main activity of farmer (agriculture)	-18.66	5503	0.000	1	0.997	0.000
Main activity of farmer (other)	-1.325	1.133	1.366	1	0.243	0.266
Main activity of farmer (trade)	-0.327	0.874	0.140	1	0.708	0.721
Main activity of farmer (agriculture and other)	1.983	0.686	8.347	1	0.004	7.262
Agroecological zones			7.447	4	.114	
Agroecological zones (Mekrou-penjari)	1.378	0.829	2.762	1	.097	3.967
Agroecological zones (South-Borgou)	1.858	0.987	3.541	1	.060	6.412
Agroecological zones (Atacora chains)	-16.58	4233	0.000	1	.997	0.000
Agroecological zones (Oueme Valley)	2.632	0.968	7.389	1	.007	13.91
Overall model evaluation (modèle x2)	33.95			8	0.000	
Goodness of fit test (Hosner and Lemeshow)	1.31			7	0.98	
-2 log likelihood	130.70					
-Cox and Snell R2	0.08					
Nagelkerke R2	0.24					

Implications of the study

This study allowed to identify particular strategies or approaches to improve adaptation to climate change according to the AEZ or the farmers' characteristics, i.e., their gender and main activities. This study highlighted the need to inform farmers about temperature-related variations, which seemed to be less well perceived, and their potential impact on production systems. Heat stress remains a major constraint on animal welfare and productivity (Kadzere et al., 2002). In the Plateau AEZ, where farmers have recognized an increase in temperature, they can be educated on the need to provide animals with adequate buildings (well-ventilated, trees planted around buildings) to optimize their well-being and production. Indeed, smaller animals' improved surface area/live weight ratio enables them to dissipate heat more efficiently (Silanikove et al., 2000).

Based on the regression results, the strategy of diversifying feed resources was implemented by farmers without any level of education and in households with a large number. This raises the issue of farmers' abusive and uncontrolled exploitation of feed resources and implies actions to educate and raise awareness among farmers to ensure the rational use of forage/fodder resources, as suggested by Ayantundé et al. (Samara et al., 2016; Ayantunde

et al., 2020). Furthermore, feeding intensification has proved to be preferred by women goat farmers who are practicing farming and other activities such as agricultural processing. Goats represent a vital capital asset for these women from poor households (Dossa et al., 2008; Missohou et al., 2016), justifying their attitude to force-feed them with agro-food processing by-products to foster their growth. Therefore, goat and sheep farmers (men especially) need to be made aware of and oriented towards supplementing practice, which aligns with the Beninese government's policy of sedentary herding.

The abundance of plant resources in the Oueme Valley AEZ, one of the wettest places in Benin (Sinsin et al., 2010), has justified the prospective adoption of a measure involving farmers' exploration of new feed resources. However, exploring new feed resources would fit in effectively with the small ruminant nutrition plan if the choice of these new resources has scientific support through availability, animal preference, digestibility, and animal growth evaluation [Montcho et al., 2018). Likewise, the forage cropping strategy put forward by livestock farmers in the Oueme Valley AEZ is motivated by the excellent distribution of production factors (fertile land, available water) in this region. In contrast, although good, this measure seems inappropriate for farmers from arid and semi-arid zones, where space is more available but water is less during the dry seasons (Lesse et al., 2016; Djènonntin et al., 2010). Thus, policymakers could develop programs for the large-scale production of forage resources in Oueme Valley AEZ to be exported to other AEZ.

Limitations

This study has a few limitations. A lot of qualitative data was used in the study, which could be subjective. This study relied on the farmers' memory of their perception of changes in climatic parameters over 30 years, which could introduce biases in the quality of data collected. In addition, meteorological data were collected from the agro-climatic database of the National American Security Agency (<http://power.larc.nasa.gov>). On-station data collected in the studied areas could be more reliable, but they are unavailable for all the areas.

Conclusion

This study aimed to take inventory and advise the farmers on their future climate-resilient feeding systems to sustain the small ruminant production in the West African region. Farmers perceived climate changes differently in their agroecological zones, which could be summarized as rain delays, increasing rainfall and floods, and drought pockets during the rainy season. These changes negatively affected grassland biomass production and water availability. Many farmers adapted their feeding systems through diversification of feed resources, free wandering, and feeding intensification. New feed resource exploration and forage cropping are the strategies expected to be used if climate change increases. Several factors, like the gender of farmers, their education level, their main activity, their farm location (climatic and agroecological zone), and the small ruminant farming type, affected the choice of a particular coping strategy. The study argues the need to financially and technically support the small ruminant farmers within a stakeholder network to increase their resilience to climate change effects. Policymakers could use this study to make decisions to improve small ruminant production and farmers' livelihoods in West African countries. Further studies could assess the limitations of adopting the different adaptive strategies and participatory identification of ways for their alleviation.

Acknowledgments

The authors are grateful to all the small ruminant breeders who voluntarily agreed to participate in this study and the Academe de Recherche pour l'Enseignement supérieur (ARES) of Belgium Kingdom for funding.

Section expérimentale

Etude 2 :

Diversity of feeding practices and quality of feed resources used
in small ruminant farming in Benin (West Africa)

Chapitre 4, étude 2: Diversity of feeding practices and quality of feed resources used in small ruminant farming in Benin (West Africa)

Résumé opérationnel

L'étude 1 a montré que les stratégies alimentaires constituent l'essentiel des mesures déployées dans les élevages de petits ruminants face au changement climatique. Cependant, ces pratiques et ressources d'alimentation évoluent elles aussi sous l'effet combiné de divers facteurs, dont ceux du climat, ainsi que les dynamiques socioéconomiques, culturelles, et territoriales. Ce contexte impose une mise à jour régulière des connaissances sur l'utilisation des ressources de production, en particulier celles liées à l'alimentation dans les systèmes d'élevage. Ainsi, la présente étude vise à caractériser les pratiques alimentaires et la qualité des ressources utilisées au profit des petits ruminants dans différentes zones agroécologiques du Bénin. Elle s'inscrit dans une démarche de gestion rationnelle des ressources alimentaires et contribue au développement durable des systèmes d'élevage de petits ruminants dans le pays.

Section expérimentale

Etude 2:

Diversity of feeding practices and quality of feed resources used in
small ruminant farming in Benin (West Africa)

A soumettre

Abstract

This study aimed to characterize the practices and diversity of feed resources in small ruminant farms in Benin. A survey was conducted among 400 farms across five agro ecological zones (AEZ). General data on the production system as well as the feeding strategies and resources for sheep and goats, were collected according to the seasons of the year. A Multiple Correspondence Analysis (MCA), followed by a Hierarchical Classification Analysis (HCA) (with the software R version 3.1.0) allowed to distinguish and characterize feeding strategies. Feed resource quality was assessed using Near Infrared Spectroscopy (NIRS). Four feeding strategies (FS) varied significantly ($p \leq 0.05$) across AEZ, were identified, namely FS1) extensive goat and sheep farms on exclusive natural pasture (13.7%); FS2) goat farms supplemented with agro-industrial by-products (32.8%); FS3) goat and sheep farms supplemented with agro-industrial by-products and crop residues (43%); and FS4) sheep farms supplemented only in the dry season (10.5%). Small ruminants mainly wandered freely on natural pastures during the dry season, but in the rainy season with significant differences related to small ruminant's species and agro-ecological zones ($p \leq 0.001$), the animals were kept in confinement, tied to stakes in the pasture, or driven in controlled divagation. Various fodder plants and woody plant leaves, as well as agro-industrial by-products and crop residues, were requested differently according to the AEZ ($p \leq 0.001$) and seasons of the year. These feed resources had variable nutrient values depending on the parameter considered. This study will contribute to the effective management of feeding in small ruminant farms and to the rational use of various feeding resources in response to societal and environmental changes. The present study is the first step towards finding sustainable feeding solutions for small ruminant farming systems in Benin.

Key words: goat, sheep, feed supplement, sustainable, Benin

Introduction

The West African Sub-Sahara (WASS) is characterized by a semi-arid climate with high rainfall variability and is regarded as one of the poorest regions in the world (Mertz et al., 2011). The high degree of inter- and intra-annual rainfall variability in this region not only causes highly variable forage quality and quantity but also seriously limits other ecosystem provisioning services (Heubes et al., 2011; Scheiter et al., 2016) and therefore aggravates the living conditions of the vulnerable rural poor (Mohammed et al., 2021; Jimoh et al., 2021). Sheep and goats play a vital role in subsistence agriculture because of their ability to adapt and maintain performance under difficult environmental conditions. They are raised for multiple purposes, including providing income, ensuring financial and food security, serving as living savings, and fulfilling important cultural, religious, and prestige functions (Dossa et al., 2015; Mayala et al., 2019; Molina-Flores et al., 2020). However, animal feeding remains a primary constraint due to climatic disturbances and anthropogenic pressures, including overgrazing, crop area expansion, and housing construction (Dossa et al., 2008; Bahru et al., 2014; Naah et al., 2019). Therefore, the performance of the animals is highly influenced by inter-seasonal variability in the quantity and quality of feed resources. The availability and quality of different feeding resources vary according to the characteristics of climatic zones and seasons of the year (Dossa et al., 2008; Archimède et al., 2014; Birhan et al., 2014; Koura et al., 2021; Amole et al., 2022). So, these authors identified nutrition as one of the priority areas for intervention to achieve sustainable improvement in small ruminant production systems, as feed (in terms of both quantity and quality) is the primary essential support for achieving any breeding objective. The low efficiency of small farms results, among other things, from farmer insufficient knowledge, non-optimal use of production resources, low levels of investment in livestock, poor access to services (veterinary, financial, technical), and low adoption of new technologies (Montcho et al., 2018). More specifically, technical challenges such as the availability and access to fodder resources and water, as well as the efficient use of supplementary feeds, need to be taken into consideration. Different feed categories are found in small ruminant diets depending, among other things, on regions, seasons of the year, and farmer knowledge of feed resources (Montcho et al., 2016; Dahouda et al., 2019; Kouato et al., 2021). To ensure the effectiveness of sustainability and biodiversity conservation efforts in natural resource management, understanding socio-ecological systems is crucial (Rissman et al., 2017). Research has shown that pastoralist and agro-pastoralist local knowledge of forage resources is an essential component of management decisions (Van Dijk, 1997; Tilahun et al., 2017; Naah et al., 2018) and plays a crucial role in agro-pastoralist adaptation to climate change (Naess et al., 2013). In addition, the sustainable management of feeding practices for small ruminants requires a good knowledge and in-depth analysis of the actions currently

implemented on these farms. Several studies were conducted in different agro-ecological zones (AEZ) of Benin on the characterization of production systems (Dossa et al., 2008; Houessou et al., 2021; Kouato et al., 2021; Behingan et al., 2023), and the feeding resources and their nutritive values (Montcho et al., 2016; Koura et al., 2016; Houessou et al., 2021; Koura et al., 2021; Edo et al., 2023). The often limited geographical extent of these studies, and the influence of climate change, which varies in nature and intensity from one region to another, suggest a reevaluation of knowledge on this subject in light of spatio-temporal dynamics. Therefore, updating knowledge on the diversity of feeding practices and the quality of resources used in small ruminant farms across different AEZ, is becoming essential. This study would provide levers for action to lead to solutions for improved management of feeding resources by small ruminant farmers, hereby increasing productivity on these farms in the context of climate change.

Material and methods

Study area

The study was conducted from February to June 2019, in five municipalities (Lalo, Za-kpota, N'dali, Boukombe, and Karimama), corresponding to five different AEZ (Plateau, Oueme Valley, South Borgou, Atacora chain, and Mekrou-penjari) in the Republic of Benin. These AEZ were located in three different climatic zones (arid, semi-arid, and sub-humid) as described in Table 2 and Figure 21, where biophysical factors were defined according to the works of Adomou (2005) and Akoègninou et al. (2006). The municipalities (communes) were selected according to two criteria: i) hold a high number of small ruminants and ii) be a municipality with a high proportion of food insecure households according to the Comprehensive Food Security and Vulnerability Analysis (same criteria as in Chapter 3).

Data collect basis on survey

Four villages were selected in each municipality (n=20 villages) based on the criteria mentioned above (Chapter 3). As there is no exhaustive and reliable database of small ruminant farmers in the studied areas, the local official from the Ministry responsible for animal production was contacted and asked to assist in selecting municipalities and villages to be surveyed. A semi-structured questionnaire was used to collect information on the

characteristics of farms, small ruminant feeding resources, and seasonal strategies. Herbariums were made for the subsequent identification of scientific names of plants not recognized in the field. Similarly, samples of the most commonly cited feed resources were taken for laboratory analysis.

Chemical composition of feed resources inventoried

The samples (300g) of feed resources collected were pre-dried in a dark and dry environment. They were then transported to the Animal science laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences at the University of Abomey-Calavi, and placed in an oven at 60°C for 72 hours to determine dry matter (DM). After this stage, the samples were ground through a mesh size of 1mm, before being packaged and sent to the “Centre de Recherche Agronomique de la Wallonie (CRA W)” in Gembloux (Belgium) for chemical analysis. The analyses were performed for crude protein (CP), total ash (CT), crude cellulose (CC), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), and Total Fat (FAT). Near Infrared Spectrophotometry (NIRS) Pro 1700 was used to determine the composition of the feed resources. Indeed, feed chemical analysis using Spectrophotometry allow analysing a large number of samples in record time, to reduce the cost related to laboratory reagents, and to preserve feed samples subjected to chemical analysis.

Data processing and analysis

All statistical analyses were performed using R software version 3.1.0. The variables used for the feeding strategies typology are presented in Table 12. Given that characterizing feeding strategies is one of the main objectives of this work, variables relating to resources and feeding practices for small ruminants according to the different seasons of the year and agroecological regions are taken into account from the outset for the typology of feeding strategies. A descriptive exploratory analysis was first initiated on all variables related to feeding practices, leading to the selection of twenty-five nominal variables subjected to a multiple correspondence analysis (MCA), followed by a Hierarchical clustering analysis (HCA) (FactoMineR package, MCA, and HCPC function), to differentiate the farms according to common characteristics. The nature of the variables and the objectives pursued justify the choice of these analysis methods. Given that the relevant variables retained are all qualitative, MCA makes it possible to explore the relationships between these variables and to represent

common character points in a reduced space. HCA for its part is used to group objects or individual into hierarchical clusters according to their characteristics

The feeding strategy types obtained were characterized, Chi² test and Fisher exact tests were used to assess the dependence between strategy types and categorical variables, while Kruskal-Wallis tests were used to compare quantitative variables between the identified feeding strategies. Means, maximum and minimum values, and coefficients of variation were determined for nutrients, for each category of feed resource inventoried. A hierarchical classification supported by k-means clustering analysis based on nutrient values was performed to identify homogeneous groups of feed resources. This analysis method is more effective with quantitative data, and the classification of feed resources according to their nutrients content justify the use of this method. The differences between groups identified by their chemical composition, were determined using the PROC GLM procedure and the Fisher test.

Table 12: Description of the variables used for multiple correspondence analysis (MCA)

Variables	Codes	Modalities
Feeding way	ALIM	PN: natural pasture only; PNC: pasture and supplement
Agro-industrial by-products in the dry season	AISS	YES; NO
Agro-industrial by-products in the rainy season	AISP	YES; NO
Crop residues in the dry season	ABSS	YES; NO
Crop residues in the rainy season	ABSP	YES; NO
Self-production of agro-industrial by-products	PROAIBYP	YES; NO
Purchase of agro-industrial by-products	ACHAIBYP	YES; NO
Donation of agro-industrial by-products	DONAIBYP	YES; NO
Self-production of crop residues	PROABYP	YES; NO
Purchase of crop residues	ACHABYP	YES; NO
Donation of crop residues	DONABYP	YES; NO
Daily service supplement in the dry season	RJCSS	RJCSS0: none RJCSS1: once RJCSS2: twice RJCSS3: three times RJCSSV: unlimited RJCSSI: indeterminate
Daily service supplement in the rainy season	RJCSP	RJCSP0: none RJCSP1: once RJCSP2: twice RJCSP3: three times RJCSPV: unlimited RJCSPV: indeterminate
Confinement of goats in the rainy season	CLGBRS	YES; NO

Attachment of goats in pasture in the rainy season	ATTGBRS	YES; NO
Controlled roaming of goats in the rainy season	DCGBRS	YES; NO
Free roaming of goats in the rainy season	DLGBRS	YES; NO
Confinement of sheep in the rainy season	CLSBRS	YES; NO
Attachment of sheep in pasture in the rainy season	ATTSBRS	YES; NO
Controlled roaming of sheep in the rainy season	DCSBRS	YES; NO
Free roaming of sheep in the rainy season	DLSBRS	YES; NO
Free roaming goats in the dry season (Divagation)	DLGBDS	YES; NO
Controlled roaming of goats in the dry season	DCGBDS	YES; NO
Free roaming of sheep in the dry season	DLSBDS	YES; NO
Controlled roaming of sheep in the dry season	DCSBDS	YES; NO

Results

Typology and characterization of feeding strategies

The first three factorial axes resulting from the multiple correspondence analysis explained 41% of the variability of information, i.e., 16.5%, 14.1%, and 9.9%, respectively (Table 13).

Table 13: Variance of information explained by the factorial axes according to the multiple correspondence analysis.

Eigenvalues	Dimension 1	Dimension 2	Dimension 3
Variance	0.363	0.311	0.218
% of Variability	16.503	14.128	9.927
Cumulative of % of Variability	16.503	30.631	40.558

Variables related to small ruminant management patterns in the dry and rainy seasons had a good score (0.5 or higher) on the first factorial axis, while the variables related to small ruminants feeding way and complementary feed resources strongly contributed to the second factorial axis. Scores of many variables were generally low on the third factorial axis, except for the variable « goat confinement in the rainy season » (Table 14).

Table 14: Scores of variables on the first three factorial axes

Variables	Dimension 1	Dimension 2	Dimension 3
ALIM	0.051	0.524	0.193
AISS	0.081	0.810	0.284
ABSS	0.345	0.750	0.400
AISP	0.084	0.714	0.028
ABSP	0.103	0.710	0.050
PROAIBYP	0.013	0.844	0.006
ACHAIBYP	0.011	0.836	0.016
DONAIBYP	0.004	0.835	0.003
PROABYP	0.315	0.042	0.430
ACHABYP	0.315	0.042	0.427
DONABYP	0.315	0.042	0.389
RJCSS	0.132	0.533	0.264
RJCSP	0.051	0.622	0.020
CLGBRS	0.635	0.070	0.567
ATTGBRS	0.544	0.143	0.423
DCGBRS	0.589	0.003	0.470
DLGBRS	0.534	0.006	0.357
CLSBRS	0.684	0.075	0.008
DCSBRS	0.633	0.057	0.030
ATTSBRS	0.635	0.027	0.012
DLSBRS	0.674	0.025	0.117
DLGBDS	0.532	0.004	0.404
DCGBDS	0.532	0.004	0.404
DLSBDS	0.632	0.025	0.080
DCSBDS	0.632	0.025	0.080

Legend: ALIM: Feeding way; AISS: Agro-industrial by-products in dry season; AISP: Agro-industrial by-products in the rainy season; ABSS: Crop residues in dry season; ABSP: Crop residues in rainy season; PROAIBYP: Self production of agro-industrial by-products; ACHAIBYP: Purchase of agro-industrial by-products; DONAIBYP: Donation of agro-industrial by-products; PROABYP: Self production of crop residues; ACHABYP: Purchase of crop residues; DONABYP: Donation of crop residues; RJCSS: Daily service supplement in dry season; RJCSP: Daily service supplement in rainy season; CLGBRS: Confinement of goats in rainy season; ATTGBRS: Attachment of goats in pasture in rainy season; DCGBRS: Controlled roaming of goats in the rainy season; DLGBRS: free roaming of goats in the rainy season; CLSBRS: confinement of sheep in rainy season; ATTSBRS: attachment of sheep in pastures in rainy season; DCSBRS: controlled roaming of sheep in rainy season; DLSBRS: free roaming of sheep in rainy season; DLGBDS: free roaming of goats in dry season; DCGBDS: controlled roaming of goat in dry season; DLSBDS: free roaming of sheep in dry season; DCSBDS: controlled roaming of sheep in dry season.

The hierarchical for the differentiation of four feeding strategies (FS) for small ruminants (Figure 25).

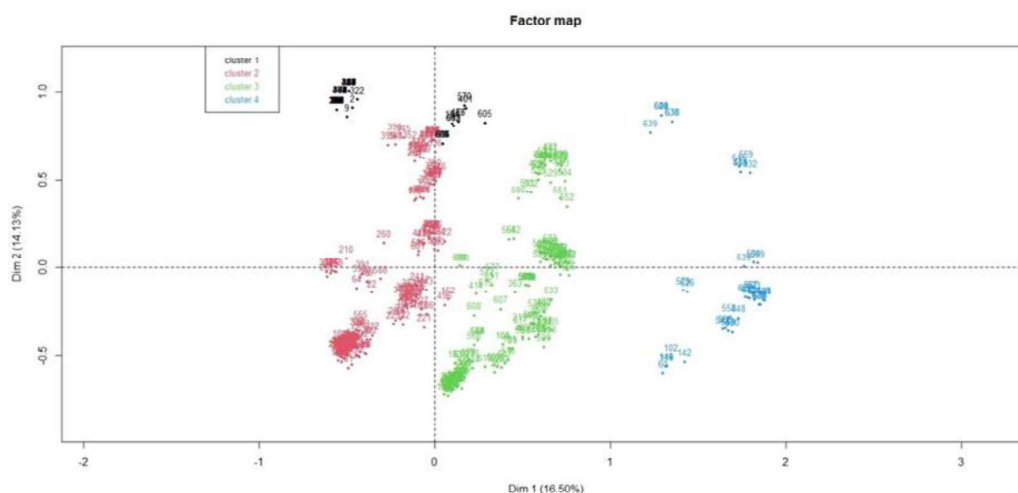


Figure 25: Feeding strategies following the Hierarchical Classification Analysis

These feeding strategies were named and characterized as follows:

FS1 (PN, n= 55; 13.7 %): Extensive goat and sheep farming on natural pastures (black point in Figure 25)

The resources of the natural pasture were only used to feed the small ruminants. One out of seven farmers interviewed used this practice. This feeding strategy was strongly present in farms located in the Oueme Valley AEZ (Za-kpota) in the South, and the Atacora Chain AEZ (Boukombe) in the North. Men farmers were more likely to use this practice, but women were also well represented (43.6 %). The average age of farmers was 50 years, with 13 years of experience in raising small ruminants. In descending order, Fon (46%) and Ditamari (40 %) ethnic groups were the most representative. Farmers practiced mainly indigenous religion (60 %) and were mostly illiterate. The majority of farmers had agriculture (crop cultivation) as their main activity, but many of them combined it with another activity (27 %) such as crafting or trading. The average cultivated area was 5.2 hectares (Ha), and in the majority of farms (78.2 %), goats were the only small ruminant species present, while both species (goats and sheep) were found in the remaining farms. These were all Djallonké breed, with flocks consisting of 0.8 Tropical Livestock Units (TLU, corresponding to an animal weighing 250 kg). Other animal species such as poultry (31.2 %) and pigs (24.5 %) were combined with small ruminants in these farms.

FS2 (PN-SPAI, n=131; 32.8 %): goat farms using agro-industrial by-products as a supplement (red points in Figure 25)

This feeding strategy involved the use of natural pasture resources and agro-industrial by-products to feed goats, and was applied on one-third of the farms investigated. Like the precedent feeding strategy, this feeding method was well observed in the Oueme Valley and Plateau AEZ (Za-kpota, 40 %; Lalo, 22 %) in the South, and in the Atacora Chain AEZ (Boukombe, 26%) in the North. Farms were owned by both men (52 %) and women (48 %), and were shared essentially among the Fon (46 %), Ditamari (26 %), and Adja (17 %) ethnic groups. The average age of farmers was 45 years, with 12 years of experience in raising small ruminants. Nearly 60 % of farmers adhered to indigenous religions, while a quarter identified as Christian. Agriculture was also the primary activity of farmers, while for nearly one in seven farmers, it was trading. The average cultivation area was about 3 Ha. The Djallonke breed goats in almost all farms (93 %) were the only small ruminant species present, and the flock size was 0.7 TLU. In addition to the goat, poultry, pigs, and cattle were also found in 73 %, 21 %, and 13 % of these farms, respectively.

FS3 (PN-AIRR, n= 172; 43 %): goat and sheep farms using agro-industrial and crop residue by-products as supplements (integrated) (green points in Figure 25)

The use of agro-industrial by-products and crop residues for supplementing the diets of goats and sheep throughout the year was the feeding strategy employed by nearly half of the farmers interviewed in this group. More than one-third of the farms were found in the Mekrou-Penjari AEZ (Karimama), and on average a quarter of the farms in South Borgou AEZ (N'dali) in the north region, as well as a quarter of the farms in the Plateau AEZ (Lalo) in the South region. The majority of these farms were managed by men (83 %), primarily from the Dendi (29 %), Peulh (26 %), and Adja (24 %) ethnic groups. They were on average 45 years old, with 16 years of experience in raising small ruminants. More than half of the farmers identified as Muslim, while the others practiced indigenous religions (36 %); they generally had no formal education. As in the two previous strategies, agriculture was the main activity for 65 % of the farmers, while livestock raising was the main activity for one in five farmers. The average size of the crop area was 5 Ha. Goats and sheep of Djallonké breeds were found in most farms (65 %), while the Sahelian breed of these species was present in more than one-third of the farms. The average flock size was 2 TLU. Like another animal species, poultry, cattle, and pigs were present in nearly 70 %, 44 %, and 12 % of these farms respectively.

FS4 (PN-AIRRSS, n=42; 10.5 %): Sheep farms using agro-industrial by-products and crop residues as supplements in the dry season (blue points in Figure 25)

This feeding strategy was the least represented (11 % of farms). Using agro-industrial by-products and crop residues was implemented mainly during the dry season and was used for sheep only. This feeding practice was most commonly observed in the South Borgou AEZ (N'dali, 62 %) and the Mekrou-Penjari AEZ (Karimama, 24 %) in the Northern zones, and was completely absent in the Ouemey-valley AEZ (Za-Kpota) in the Southern zone. The majority of farmers (71 %) were men of the Dendi ethnicity, and aged 47 years, with 15 years of experience in raising small ruminants. Nearly 70 % of the farmers were of the Islamic religion, and most were illiterate. Agriculture was the main activity for nearly one out of two farmers, while the others were engaged in various activities, including handicrafts, transport, trade, and livestock breeding. The average cultivated area was 6 Ha and Djallonke sheep were the most represented. Poultry and cattle were the other animal species found in more than one out of four farms, and the average flock size was 1.9 TLU. Tables 15 to 19 show the distribution of farm characteristics according to feeding strategies and AEZ.

Table 15: Socio-economic characteristics of farmers according to feeding strategy groups.

Variables	Feeding strategies				Chi²	P value
	FS1 (n=55; 13.7 %)	FS2 (n=131; 32.8 %)	FS3 (n=172; 43 %)	FS4 (n=42; 10.5 %)		
Nominal (%)						
Municipalities	North				222.38	≤0.001
	Karimama	0.0	6.9	35.5	23.8	
	N'dali	14.5	4.6	23.3	61.9	
	Boukombé	40.0	26.0	12.8	4.8	
	South					
	Za-kpota	45.5	40.5	1.2	0.0	
	Lalo	0.0	22.1	27.3	9.5	
Sex of the farmer	Man	56.4	51.9	82.6	71.4	
	Woman	43.6	48.1	17.4	28.6	35.83 ≤0.001
Ethnic group of the farmers	Adja	0.0	16.8	23.8	7.1	
	Fon	45.5	45.8	4.7	2.4	226.19 ≤0.001
	Dendi	0.0	8.4	32.0	71.4	
	Ditamari	40.0	26.0	13.4	4.8	
	Peulh	14.5	3.1	26.2	9.5	
	Others	0.0	0.0	0.0	4.8	
Religion	Christian	12.7	25.2	5.8	14.3	119.78 ≤0.001
	Islam	14.5	9.9	57.6	69.0	
	Local religion	60.0	58.8	35.5	16.7	
	Others	12.7	6.1	1.2	0.0	
Education level	Primary	1.8	4.6	11.0	9.5	10.50 0.105
	Secondary	1.8	6.1	2.9	2.4	
	None	96.4	89.3	86.0	88.1	
Main activity	Agriculture only	60.0	55.0	53.5	42.9	44.92 ≤0.001
	Agriculture and others	27.3	15.3	11.6	4.8	
	Breeding	1.8	6.1	20.3	14.3	
	Trade	9.1	13.0	6.4	16.7	
	Others (crafting, transport, etc)	1.8	10.7	8.1	21.4	
Small ruminants present	Goat	78.2	100.0	0.0	0.0	758.03 ≤0.001

Goat breed	Sheep	0.0	0.0	0.0	100.0	
	Goat and sheep	21.8	0.0	100.0	0.0	
	Djallonke	100.0	92.4	62.5	0.0	463.54 ≤0.001
	Sahelian	0.0	7.6	35.5	0.0	
	Djallonke and Sahelian	0.0	0.0	1.7	0.0	
Sheep breed	Djallonke	100.0	0.0	62.8	61.9	
	Sahelian	0.0	0.0	34.9	35.7	374.51 ≤0.001
	Djallonke and Sahelian	0.0	0.0	2.3	2.4	
Others animals	Poultry	70.9	72.5	69.8	28.6	30.56 ≤0.001
	Pig	30.9	21.4	11.6	2.4	19.59 ≤0.001
	Cattle	16.4	13.7	44.2	28.6	102.39 ≤0.001
		Numeric (Mean± Standard Error)				
Farmer age (year)	-	49.8±1.4 ^a	44.5±1.1 ^b	45.0±0.9 ^b	46.7±1.8 ^{ab}	- 0.010
Farmer experience (year)		12.9±1.1 ^{ab}	12.1±0.8 ^b	15.6± 0.7 ^a	14.5±1.2 ^{ab}	- ≤0.001
Cultivated area (Ha)		n= 49	n=113	n=168	n=38	- ≤0.001
Household size (n)		5.2±0.5 ^a	3.1± 0.2 ^b	5.2± 0.3 ^a	6.0±0.7 ^a	
		8.8±0.6 ^{bc}	8.0± 0.4 ^c	9.4±0.4 ^b	11.0±0.8 ^a	- ≤0.001
Small ruminants flock size (TLU)		0.8±0.1 ^b	0.7± 0.0 ^b	2.0± 0.1 ^a	1.9±0.3 ^a	- ≤0.001

P: probability, ^{a,b,c}, a common letter in line indicates that they are not significantly different (P≥0.05)

Seasonal breeding practices in small ruminant farms in the agroecological zones

The way the small ruminants were kept in the different agro-ecological zones was governed by the seasons of the year. With a significant difference between agroecological zones ($p \leq 0.05$), goats and sheep were mainly in free roaming during the dry season in all agroecological zones (Table 16). However, in 17 % of the goat farms in the Mekrou-Penjari AEZ, and 20 % of the sheep farms in the Mekrou-Penjari and Southern Borgou AEZ, animals were kept under the supervision of a shepherd. During the rainy season, with differences between agro-ecological zones ($p \leq 0.05$), stall-feeding was a well-developed management method for goats, particularly in the Oueme -Valley and the Plateau AEZ. In the Northern AEZ, tethering of goats in grazing areas was the most applied practice, especially in the Atacora chain zone. In addition to these management methods, goats were under the supervision of a shepherd during grazing on 43 % of farms in the Mekrou-Penjari AEZ, while on 20 % of the farms, the animals were allowed to roam freely. In the sheep case, animal driving patterns were almost identical to those for goats. However, few farms in the Southern Borgou zone and none in the Atacora chain AEZ had opted for confinement. Tethering sheep to stakes in grazing areas and controlled divagation were the most frequently mentioned rearing methods in the Atacora chain region, while controlled divagation and free roaming were used in the Southern Borgou region AEZ.

Table 16: Seasonal feeding practices on small ruminants' farms in the agro-ecological zones

Variables	AEZ					Chi ²	P	AEZ					Chi ²	P value	
	MK n=80	SB n=80	AC n=80	OV n=80	PL n=80			MK n=80	SB n=80	AC n=80	OV n=80	PL n=80			
Goat	Dry season					Rainy season									
	Nominal (%)														
Confinement/stall feeding	-	-	-	-	-	-	-	37.1	31.5	24.4	100.0	100.0	180.10	≤0.001	
Attachment/ tethering in pasture	-	-	-	-	-	-	-	22.9	40.7	100.0	0.0	6.6	223.70	≤0.001	
Controlled roaming	17.1	3.7	0.0	0.0	1.3	37.78	≤0.001	42.9	9.3	0.0	0.0	0.0	112.21	≤0.001	
Free roaming	82.9	96.3	100.0	100.0	98.7	37.76	≤0.001	0.0	25.9	0.0	0.0	0.0	82.02	≤0.001	
Sheep	Dry season					Rainy season									
	Nominal (%)														
Confinement/ stall feeding	-	-	-	-	-	-	-	39.4	12.2	0.0	100.0	80.4	82.91	≤0.001	
Attachment/ tethering in pasture	-	-	-	-	-	-	-	31.0	6.8	55.6	0.0	15.7	32.97	≤0.001	
Controlled roaming	25.4	25.7	0.0	0.0	7.8	15.60	0.004	39.4	54.1	44.4	0.0	7.8	30.36	≤0.001	
Free roaming	74.6	74.3	100.0	100.0	92.2	15.61	0.004	0.0	31.1	0.0	0.0	2.0	48.67	≤0.001	

AEZ: agroecological zone; MK: Mekrou-Penjari, SB: South Borgou, AC: Atacora Chain, OV: Oume-valley, PL: Plateau; P: probability

Feeding resources categories used in small ruminant farms across agro-ecological zones

Table 17 shows the different categories of feeding resources used in small ruminant farms. Except for woody and shrub tree leaves ($p \geq 0.05$), other categories of feed resources were employed differently in AEZ. Grass was the least resource mentioned by small ruminant farmers, with one out of five farmers and one out of four farmers, respectively, in Mekrou-Penjari and the Plateau AEZ. Crop by-products were exceptionally used in the Northern AEZ, particularly in Mekrou –Penjari (all farmers) and Atacora chain (70 % of farmers) AEZ. In contrast, agroindustrial by-products were used in all agroecological zones, with the highest number of users in the Plateau AEZ (97.5 %) and the lowest number in the Atacora chain AEZ (42.5 %).

Table 17: Feeding resources categories used in small ruminant farms across agro-ecological zones.

Feeding resources categories		AEZ					Chi ²	P value
		MK n=80	SB n=80	AC n=80	OV n=80	PL n=80		
Wood and shrub leaves		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-	-
Grass	Yes	20.0	2.5	0.0	3.8	25.0	45.22	0.001
Crop by-products	Yes	100.0	48.8	70.0	12.5	2.5	209.24	0.001
Agroindustrial by-products	Yes	71.3	75.0	42.5	62.5	97.5	60.48	0.001

AEZ: agroecological zone; MK: Mekrou-Penjari, SB: South Borgou, AC: Atacora Chain, OV: Oueme-Valley, PL: Plateau; P: probability

Fodder resources used in small ruminant farms in agro-ecological zones

Natural pasture resources were the basis of small ruminant feeding regardless of the season of the year and the AEZ. Farmers gave priority to tree and shrub leaves, with a significant difference between woody leaves from one AEZ and another ($p \leq 0.05$), and much less to herbaceous resources. There was a divide between forage plants used by farmers located in the Northern AEZ and plants mentioned by farmers located in the Southern AEZ (Table 18).

Table 18: Forage resources used in small ruminant farms across agroecological zones.

Forage resources	Family	AEZ					Chi²	P value
		MK n=80	SB n=80	AC n=80	OV n=80	PL n=80		
Gramineous		Nominal (%)						
<i>Andropogon gayanus</i>	Poaceae	0.0	2.5	0.0	5.0	0.0	8.04	0.090
<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.67	≤0.001
<i>Panicum maximun</i>	Poaceae	5.0	2.5	0.0	0.0	21.3	71.02	≤0.001
<i>Ipomoea aquatica</i>	Convolvulaceae	0.0	0.0	0.0	3.8	16.3	41.28	≤0.001
Legumineous		Nominal (%)						
<i>Dichrostachys cinerea</i>	Fabaceae	0.0	0.0	2.5	5.0	0.0	10.83	0.029
<i>Tephrosia bracteolata</i>	Fabaceae	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	66.67	≤0.001
Woody and others		Nominal (%)						
<i>Adansonia digitata</i>	Bombacaceae	37.5	0.0	5.0	0.0	0.0	110.06	≤0.001
<i>Afzelia africana</i>	Caesalpiniceae	2.5	53.8	16.3	0.0	0.0	136.04	≤0.001
<i>Annona senegalensis</i>	Annonaceae	0.0	23.8	20.0	13.8	0.0	42.97	≤0.001
<i>Balanites aegyptiaca</i>	Balanitaceae	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0	115.82	≤0.001
<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	18.8	62.34	≤0.001
<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	39.07	≤0.001
<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	0.0	0.0	0.0	5.0	16.3	9.35	0.025
<i>Elaeis guineensis</i>	Arecaceae	0.0	0.0	0.0	93.8	98.8	376.03	≤0.001
<i>Ficus sycomorus</i>	Moraceae	52.5	0.0	18.3	0.0	0.0	23.94	≤0.001
<i>Ficus thonongii</i>	Moraceae	0.0	11.3	0.0	0.0	0.0	36.83	≤0.001
<i>Ficus umbellata</i>	Moraceae	0.0	0.0	0.0	3.8	1.3	8.59	0.072
<i>Ficus vallis choudae</i>	Moraceae	32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	111.23	≤0.001
<i>Hypselodelphis violacea</i>	Marantaceae	0.0	0.0	0.0	13.8	10.0	31.17	≤0.001

<i>K. senegalensis</i>	Meliaceae	8.8	53.8	5.0	0.0	0.0	142.4 5	≤0.00 1
<i>M.indica</i>	Anacardiaceae	0.0	35.0	55.0	75.0	10.0	135.3 9	≤0.00 1
<i>M. esculenta</i>	Euphorbiaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	51.2	182.7 3	≤0.00 1
<i>Morinda lucida</i>	Rubiaceae	0.0	0.0	0.0	46.3	66.3	183.3 7	≤0.00 1
<i>Moringa oleifera</i>	Moringaceae	0.0	0.0	3.8	20.0	12.5	33.51	≤0.00 1
<i>Musa spp</i>	Musaceae	0.0	0.0	0.0	2.5	6.3	13.96	0.007
<i>Newbouldia laevis</i>	Bignoniaceae	0.0	0.0	0.0	8.8	17.5	39.40	≤0.00 1
<i>Parkia biglobosa</i>	Mimosaceae	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	53.75	≤0.00 1
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	Papilionaceae	10.0	31.3	6.3	0.0	0.0	61.82	≤0.00 1
<i>Rhodognaphalon brevicuspe</i>	Bombacaceae	0.0	0.0	0.0	5.0	21.3	54.48	≤0.00 1
<i>Sclerocarya birrea</i>	Anacardiaceae	6.3	2.5	0.0	0.0	0.0	13.96	0.007
<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	16.16	0.003
<i>Tamarindus indica</i>	Caesalpinaceae	6.3	1.3	0.0	0.0	0.0	15.91	0.003
<i>Thevetia neriifolia</i>	Apocynaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5	148.6 3	≤0.00 1
<i>Vitellaria paradoxa</i>	Sapotaceae	3.8	15.0	1.3	0.0	0.0	33.46	≤0.00 1
<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i>	Rutaceae	0.0	0.0	0.0	1.3	50.0	171.8 6	≤0.00 1

AEZ: agro ecological zone; MK: Mekrou-Penjari, SB: South Borgou, AC: Atacora Chain, OV: Oueme-Valley, PL: Plateau; P: probability

Some plants like *Pterocarpus eurinaceus*, *Vitellaria paradoxa*, *Balanites aegyptiaca*, *Azelia africana*, *Ficus sycomorus*, and *K. senegalensis* were mentioned in Northern zone, while *Elaeis guineensis*, *Newbouldia laevis*, and *Zanthoxylum zanthoxyloides* were more often cited in the Southern zone. However, some plants such as *M. indica* and *Moringa oleifera* were simultaneously cited by farmers in all AEZ. In addition to fodder resources, Table 19 shows the supplementary feed resources used by farmers across the AEZ and throughout the year. There were by-products from the processing of agricultural raw materials and agricultural crop residues. The use of these supplementary feed resources varied significantly between seasons of the year and AEZ ($p \leq 0.05$).

Cereal bran (maize, soybean), root and tuber peelings (cassava, yam), and legume crop residues (cowpea, groundnuts) were the most commonly used supplementary feed resources, especially during the dry season. Some supplement feed resources like sorghum offal, cowpea haulms, and groundnut haulms were most requested in the Northern AEZ, while cassava peelings were most used in the South Borgou AEZ in the North and the Plateau AEZ in the South.

Table 19: Seasonal use of supplementary feed resources in small ruminant farms across agro ecological zones

Supplement resources	feed	AEZ					Chi ²	P value
		MK n=80	SB n=80	AC n=80	OV n=80	PL n=80		
Nominal (%)								
Cereal bran and cereal seed								
Maize bran	DS	27.5	56.3	35.0	18.8	73.8	65.92	≤0.001
	RS	11.3	32.5	15.0	28.7	76.3	97.55	≤0.001
Soybean bran	DS	11.3	22.5	2.5	22.5	32.5	28.76	≤0.001
	RS	6.3	15.0	1.3	25.0	33.8	41.70	≤0.001
Maize seed	DS	10.0	15.0	35.0	5.0	2.5	45.90	≤0.001
	RS	3.8	5.0	1.3	1.3	0.0	6.14	0.189
Sorghum seed	DS	21.3	6.3	15.0	0.0	0.0	36.45	≤0.001
	RS	1.3	6.3	0.0	0.0	0.0	15.91	0.003
Cereal offal and cake								
Offal of sorghum	DS	38.8	40.0	23.8	0.0	0.0	76.79	≤0.001
	RS	7.5	27.5	16.3	0.0	0.0	46.67	≤0.001
Cotton cake	DS	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	41.02	≤0.001
	RS	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.01	0.405
Peelings								
Cassava	DS	2.5	46.3	2.5	12.5	83.8	191.20	≤0.001
	RS	0.0	8.8	0.0	12.5	70.0	185.93	≤0.001
Yam	DS	1.3	40.0	0.0	0.0	0.0	133.30	≤0.001
	RS	0.0	11.3	0.0	0.0	1.3	31.80	≤0.001
Crop residues								
Cowpea haulms	DS	93.8	32.5	10.0	3.8	1.3	235.65	≤0.001
	RS	5.0	7.5	5.0	1.3	0.0	12.35	0.136
Groundnut haulms	DS	23.8	28.7	45.0	7.5	0.0	61.09	≤0.001
	RS	0.0	11.3	7.5	6.3	0.0	16.32	0.003
Rice straw	DS	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0	115.82	≤0.001
	RS	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	23.37	≤0.001

AEZ: agroecological zone; MK: Mekrou-Penjari, SB: South Borgou, AC: Atacora Chain, OV: Oueme-Valley, PL: Plateau; P: probability; DS: dry season, RS: rainy season

Cereal bran (maize, soybean), roots and tubers peelings (cassava, yam), and legumes crop residues (cowpea, groundnuts) were the most used supplementary feed resources, very especially in the dry season. Some supplement feed resources like sorghum offal, cowpea haulms, and groundnut haulms were most requested in northern AEZ, while cassava peelings were most used in the South Borgou AEZ in North and the Plateau AEZ in south.

Chemical composition of inventoried feed resources used in small ruminant farms.

Table 20 provides information on the nutritional value of feed resources inventoried. Most feed resources had high dry matter content, either 93 %, 93 % and 91 % respectively for forages, agro-industrial by-products, and crop residues. For the CP contents, *Moringa oleifera* had the highest concentration (28 %), and the lowest values were found in *Echinocloa Sp* (4.7 %) and *Ficus sicomorus* (9.7 %) leaves. For agro-industrial by-products, CP values ranged between 4.1 % (cassava peelings) and 30 % (cottonseed cake), while rice straw (8.1 %) and legume haulms (cowpea and groundnut, 17 %) had, respectively, the lowest and the highest concentrations among the crop residues. *Panicum maximum*, sorghum offal, and rice straw had the highest values for the NDF component (67 %, 67 %, and 64 % respectively) for forages, agro-industrial by-products, and crop residues; *Carica papaya*, cassava peelings, and cowpea haulms had the lowest values with 17 %, 28 %, and 38 %, respectively. For ADF, the highest concentrations were found in *Newbouldia laevis* and *Spondias mombin* leaves for forages compared to sorghum offal, and rice straw, respectively, for agro-industrial by-products and crop residues. The lowest values were found in *Carica papaya* leaves, cassava peelings, and cowpea haulms. With 20.7 % and 20.6 % of ADL, respectively, *Rhodognaphalon breviuspe* and *Spondias mombin* were higher in contrast to *Panicum maximum* (2.1 %) and *Moringa oleifera* (3.8 %). The FAT values were low for all feed resources, except for *Carica papaya* and *Musa sp.* leaves, which had concentrations above 10 %.

Table 20: Nutritional values of feed resources used in small ruminant farms.

Feed resources	Chemical composition							
	DM (%)	ASH (% DM)	CP (% DM)	NDF (% DM)	ADF (% DM)	ADL (% DM)	CC (% DM)	FAT (% DM)
Grass (n= 3)								
<i>Panicum maximum</i>	93.4	11.3	13.4	66.9	35.1	2.8	31.8	3.1
<i>Echinocloa sp</i>	90.3	3.9	4.8	38.5	23.8	7.6	20.7	3.4
<i>Tridax procumbens</i>	93.8	18.1	19.5	44.8	31.4	9.4	24.3	3.1
Mean	92.5	11.1	12.6	50.1	30.1	6.6	25.6	3.2
Coefficient of variation (%)	2.1	64.3	26.6	29.8	19.08	51.6	21.9	5.9
Minimun	90.3	3.9	13.4	38.5	23.8	2.8	20.7	3.1
Maximum	93.8	18.1	23.3	66.9	35.1	9.4	31.8	3.4
Woody/ shrub leaves (n= 37)								
<i>Acasia seyal</i>	92.7	10.3	17.0	47.7	33.8	17.3	29.8	2.4
<i>Adonsonia digigtata</i>	88.6	16.8	13.6	34.0	32.3	18.0	12.4	7.2
<i>Azzeria africana</i>	92.8	7.9	17.0	50.5	36.9	11.9	34.0	4.7
<i>Albizia lebbeck</i>	91.8	10.4	20.9	47.0	34.4	11.1	31.0	3.2
<i>Annona senegalensis</i>	91.7	8.3	10.3	49.6	34.9	10.8	23.0	3.5
<i>Azadiracta indica</i>	93.2	7.6	22.6	34.5	26.9	13.7	23.3	3.9
<i>Balanites aegytiaca</i>	91.7	9.3	18.2	36.9	24.4	12.0	23.8	3.6
<i>B. sapida</i>	93.5	9.1	14.9	55.7	42.6	15.5	38.3	3.6
<i>Carica papaya</i>	93.1	27.4	24.7	16.7	12.1	4.9	8.9	10.4
<i>Cassia sieberiana</i>	93.8	8.7	12.9	46.4	34.8	13.9	26.4	3.6
<i>Citrus sp</i>	93.5	16.4	15.5	32.6	20.7	9.3	19.7	2.9
<i>Dracaena arborea</i>	94.4	10.7	12.2	58.6	45.4	16.9	40.9	7.0
<i>Elaeis guinneensis</i>	93.4	11.8	13.9	62.6	45.1	12.4	36.4	2.2
<i>Ficus ingens</i>	91.6	19.2	14.7	42.3	29.6	13.6	19.9	3.5
<i>Ficus polita</i>	96.0	7.9	17.1	27.7	29.6	14.3	17.2	3.5
<i>Ficus sicomorus</i>	89.6	20.1	9.8	37.1	29.4	4.3	18.8	1.7
<i>Ficus thonningii</i>	90.5	18.9	15.5	41.8	30.7	10.5	19.5	3.4
<i>Ficus vallis choudae</i>	89.4	17.7	11.6	36.8	31.1	6.7	16.1	1.8
<i>Gliricidia sepium</i>	93.1	16.2	22.3	30.5	18.7	7.7	14.4	4.9
<i>Grewia carpinifolia</i>	93.7	13.7	24.1	45.6	25.1	8.9	16.9	2.4
<i>Guiera senegalensis</i>	92.7	9.4	15.5	31.1	20.6	5.8	14.5	3.6
<i>K. senegalensis</i>	92.9	5.6	11.0	52.7	43.6	20.0	30.6	4.1
<i>Leucena leucocephala</i>	90.2	12.4	23.7	22.2	14.9	8.1	13.5	6.8
<i>Mallotus oppositifolius</i>	92.4	12.6	18.5	33.8	21.0	5.1	18.1	5.3
<i>M.indica</i>	94.2	8.6	10.7	51.7	36.3	12.2	28.7	3.2
<i>Morinda lucida</i>	92.4	9.7	23.6	37.1	29.0	13.9	18.4	5.7
<i>Moringa Oleifera</i>	90.9	20.7	27.8	24.5	13.4	3.8	7.9	5.5
<i>Musa sp.</i>	92.2	16.3	12.3	55.7	34.5	11.8	25.8	10.6
<i>Newbouldia laevis</i>	92.6	9.9	17.9	58.5	43.1	11.8	34.6	5.3
<i>Parkia biglobosa</i>	92.9	7.7	15.8	44.4	34.6	18.5	20.5	5.2
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	89.9	9.3	19.1	45.4	34.6	14.7	28.0	2.0

<i>Rhodognaphalon brevispe</i>	92.1	12.0	16.6	56.6	46.9	20.7	26.5	1.9
<i>Spondias mombin</i>	91.8	10.9	17.0	48.7	42.8	20.6	21.5	4.1
<i>Thevetia nerifolia</i>	93.8	13.6	15.7	30.4	29.5	12.9	18.4	6.3
<i>Vitellaria paradoxa</i>	92.8	4.6	11.1	44.1	34.9	17.5	13.4	3.2
<i>Vitex doniana</i>	94.2	8.0	10.8	51.6	40.2	11.6	30.8	3.6
<i>Zanthoxylum Zanthoxyloïdes</i>	89.8	15.8	18.6	38.4	26.1	11.7	15.2	4.8
Mean	92.3	12.1	16.8	42.1	31.3	12.2	22.6	4.3
Coefficient of variation (%)	1.75	41.7	27.9	26.1	29.1	37.7	36.2	47.6
Minimun	88.6	3.9	9.8	16.7	12.1	3.8	7.9	1.7
Maximum	96.0	27.4	27.8	62.6	46.9	20.7	40.9	10.6
Agroindustrial by-products (n=6)								
Maize bran (industrial)	93.3	3.3	10.3	47.8	28.5	7.9	21.4	6.1
Maize bran (traditional)	88.4	5.3	17.3	53.5	26.9	6.2	22.1	2.7
Soybean bran	90.6	12.5	18.6	51.8	30.8	5.7	25.2	3.6
Sorghum offal	93.9	8.3	5.1	67.3	40.7	3.9	36.5	1.8
Cassava peelings	92.2	5.7	4.0	28.3	19.6	8.2	8.3	2.2
Cotton cake	95.5	7.6	29.8	48.2	29.7	4.2	23.9	6.4
Mean	92.3	7.1	14.2	49.5	29.4	6.0	22.9	3.8
Coefficient of variation (%)	2.7	44.7	68.7	25.4	23.2	30.0	39.4	52.9
Minimun	88.4	3.3	4.0	28.3	19.6	3.9	8.3	1.8
Maximum	95.4	12.5	29.8	67.3	40.7	8.2	36.5	6.4
Crop residues (n=4)								
Cowpea haulms	91.8	8.9	17.4	37.5	26.2	5.3	21.0	3.9
Groundnut haulms	88.2	11.5	17.7	44.3	42.0	11.8	27.3	2.4
Rice straw	92.2	16.1	8.1	63.8	36.7	3.8	32.4	1.9
Sorghum straw	90.4	10.1	13.0	61.2	33.8	5.9	27.3	2.2
Mean	90.6	11.6	14.0	51.7	34.7	6.7	27.0	2.6
Coefficient of variation (%)	2.0	26.9	32.1	24.8	19.0	52.4	17.2	35.4
Minimun	88.2	8.9	8.1	37.5	26.2	3.8	21.0	1.9
Maximum	92.1	16.1	17.7	63.8	42.0	11.8	32.4	4.0

DM: Dry Matter, ASH: Total Ash, CP: Crude Protein, NDF: Neutral Detergent Fiber, ADF: Acid Detergent Fiber, ADL: Acid Detergent Lignin, CC: Crude cellulose, FAT: Total Fat

Dendrograms obtained from the nutrient values of woody forage species, agro-industrial by-products, and crop residues (Figures 26 and 27), supported by K-means clustering (Tables 21 and 22), enabled their classification into different groups. Feed resources belonging to the first class of ligneous leaves had higher parietal constituents (between 15 -52 % DM), and a lower protein value (14 % DM) compared to resources from the second group (between 9-33 %DM) and (19 % DM). Regarding agro-industrial by-products and crop residues, three groups have emerged. The feed resources in groups 1 and 2 were characterized by lower protein content, while the higher NDF and crude cellulose contents were observed in the first group (64 % DM).

These differences in nutrients content in feed resources allow farmers to vary the feeding plan for small ruminants depending on the availability of these resources, the seasons of the year, and the AEZ. Thus, feed resources can be used alone or in combination depending on the production objective and the nutritional needs of these animals.

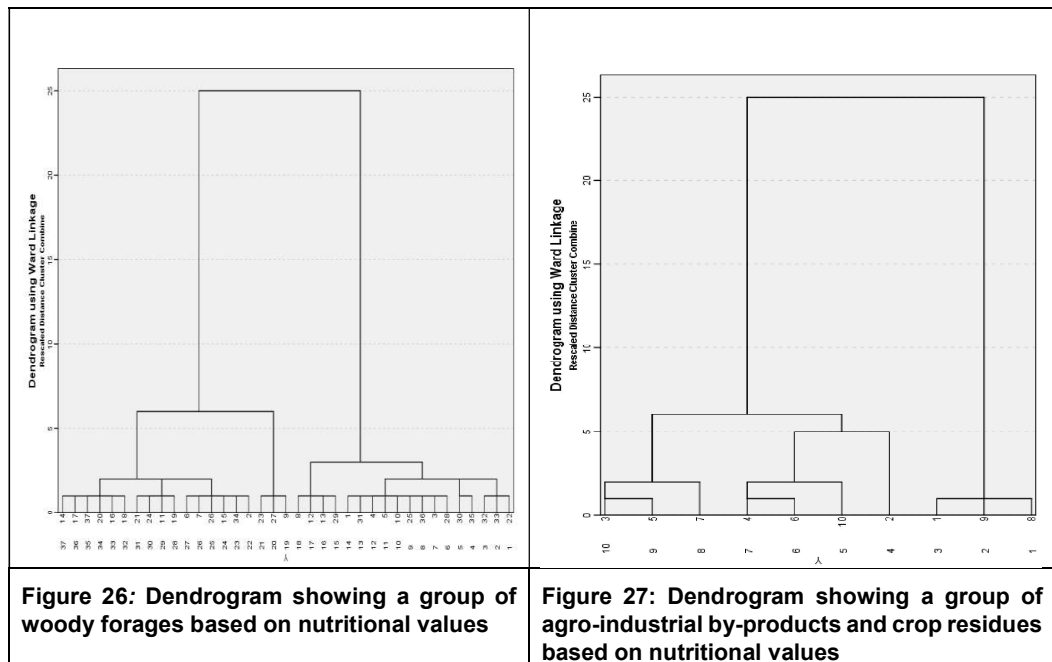


Table 21: Nutritional characteristics of groups of trees and shrub leaves resulting from K-mean cluster analysis.

Feed resources	Group 1	Group 2	Fischer value	Probability
Woody leaves	<i>Acasia seyal</i> , <i>Afzelia africana</i> , <i>Albizia lebbeck</i> , <i>Annona senegalensis</i> , <i>B. sapida</i> , <i>Cassia sieberiana</i> , <i>Dracaena arborea</i> , <i>Elaeis guinneensis</i> , <i>K. senegalensis</i> , <i>M.indica</i> , <i>Musa sp.</i> , <i>Newbouldia laevis</i> , <i>Parkia biglobosa</i> , <i>Pterocarpus erinaceus</i> , <i>Rhodognaphalon breviuspe</i> , <i>Spondias mombin</i> , <i>Vitellaria paradoxa</i> , <i>Vitex doniana</i>	<i>Adonsonia digigtata</i> , <i>Azadiracta indica</i> , <i>Balanites aegytiaca</i> , <i>Carica papaya</i> , <i>Citrus sp.</i> , <i>Ficus ingens</i> , <i>Ficus polita</i> , <i>Ficus sicomorus</i> , <i>Ficus thonningii</i> , <i>Ficus vallis choudae</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Grewia carpinifolia</i> , <i>Guiera senegalensis</i> , <i>Leucena leucocephala</i> , <i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Morinda lucida</i> , <i>Moringa Oleifera</i> , <i>Thevetia neriifolia</i> , <i>Zanthoxylum Zanthoxylodes</i>		
Characteristics	(n= 18 species)	(n=19 species)		
DM (%)	92.8 ^a ±1.11	91.9 ^a ±1.9	2.77	0.105
ASH (%DM)	9.5 ^b ±2.6	15.0 ^a ±5.1	17.13	0.001
CP (%DM)	14.5 ^b ±3.3	18.6 ^a ±4.9	8.60	0.006
NDF (%DM)	51.5 ^a ±5.4	33.4 ^b ±7.1	75.30	0.001
ADF (%DM)	38.9 ^a ±4.7	24.5 ^b ±6.3	61.09	0.001
ADL (%DM)	15.0 ^a ±3.5	9.8 ^b ±4.1	17.36	0.001
CC (%DM)	28.9 ^a ±6.8	16.7 ^b ±4.2	44.13	0.001
FAT (%DM)	4.1 ^a ±2.01	4.6 ^a ±2.1	0.55	0.463

Dry Matter (DM), Total Ash (ASH), Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), Acid Detergent Lignin, Crude Cellulose (CC), and Total Fatty Acid (FAT). ^{a,b,c} the same letter in line indicates that they are not significantly different (P≥0.05)

Table 22: Nutritional characteristics of groups of agro industrial by-products and crop residues resulting from K-mean cluster analysis.

Feed resources	Group 1	Group 2	Group 3	Fischer value	Probability
Agro industrial by-products and crop residues	<i>Sorghum offal, Sorghum bicolor, straw</i> <i>Rice straw</i>	<i>Cassava peelings, Maize bran</i>	<i>Soybean bran, Maize bran (local), cottonseed cake, cowpea haulms, groundnut haulms</i>		
Caracteristics	(n= 3 species)	(n=2 species)	(n=5)		
DM (%)	92.1±1.8	92.7±0.8	90.9±3.0	0.49	0.630
ASH (%DM)	11.5±4.1	4.5±1.7	9.2±2.9	2.97	0.116
CP (%DM)	8.7 ^b ±4.0	7.1 ^b ±4.4	20.2 ^a ±5.4	7.58	0.018
NDF (%DM)	64.1 ^a ±3.0	38.1 ^b ±13.8	47.1 ^b ±6.4	8.68	0.013
ADF (%DM)	37.0±3.5	24.1±6.3	31.1±6.4	3.14	0.107
ADL (%DM)	4.5±1.2	8.1±0.2	6.6±3.0	1.51	0.285
CC (%DM)	32.1 ^a ±4.6	14.8 ^b ±9.2	23.9 ^b ±2.5	8.32	0.014
FAT (%DM)	2.0±0.2	4.2±2.8	3.8±1.6	1.57	0.273

Dry Matter (DM), Total Ash (ASH), Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), Acid Detergent Lignin, Crude Cellulose (CC), and Total Fatty Acid (FAT); ^{a,b,c} the same letter in line indicates that they are not significantly different ($P \geq 0.05$)

Discussion

Typology of feeding strategies

The categorical nature of the the discriminatory variables justified the use of MCA and HCA for classifying the feeding strategies (Manirakiza et al., 2020; Sow et al., 2021). The first feeding strategy (PN), i.e. the use of natural grazing resources for small ruminant feeding was adopted by farmers who could be described as traditionalists. This farmer behaviour could be explained by the relative availability of these resources (especially woody plants), and the lack of financial means to purchase supplementary feed resources. Goats were present on all farms that adopted the PN feeding strategy, while sheep were present on only one out of six farms. This finding was in line with some authors (Dahouda et al., 2019; Houessou et al., 2021; Kouato et al., 2021; Koura et al., 2024) on the place of shrub and woody leaves in goat feeding in different AEZ of Benin and other sub-Saharan countries (Zampaligré et al., 2013; Amole et

al., 2022). The ease with which goats can be fed, due to their low feed selectivity and hardiness, makes them a specie more suited to low- and modest income farmers.

The second feeding strategy, which involved supplementing goats with agro-industrial by-products, was implemented by farmers who had easy access to these supplements. Agro-industrial by-products such as maize and soybean bran, cassava peelings, and sorghum offal, were in relationship with crop cultures found in AEZ and were the most available and accessible. Sorghum offal was more commonly used by farmers in the Northern AEZ, where this crop is more widespread and is used in the production of the local beer "Tchoucouthou," whereas cassava peelings were more commonly used in the Southern and central regions (Montcho et al., 2016). The high presence of women as farmers could explain the implementation of this strategy, as many households have small units for processing various agricultural products into different by-products, with the agricultural products often being processed and/or marketed by women (Dossa et al., 2008).

The third feeding strategy, which involved supplementing goats and sheep with agro-industrial by-products and crop residues, was the strategy that best utilized the resources available in the environment. As agriculture was the main activity in the study area, crop residues were available and relatively accessible. The propensity of farmers from Dendi and Peulh ethnic groups to adopt this strategy could be due to their level of knowledge about small ruminant feeding practices. For these farmers, some of whom had breeding as their main activity, the general body condition of animals determines their market price (Zanou et al., 2024), which could justify their interest in animal well-being. However, the long distances between crop fields and the farm location do not facilitate the transport of feedstuffs to animals (Diogo et al., 2018).

The last feeding strategy was the supplementation of sheep during the dry season. The farmers used this strategy because natural pasture resources are very scarce in this season compared to the rainy season. This implies that agro-industrial by-products and crop residues should be harvested and stored efficiently for use during the dry season. The implementation of this strategy would also reduce feed costs for farmers compared with those adopting the previous strategy of year-round feed supplementation. Having recourse to different feed resources is part of a logic of feed diversification, but knowing how to properly combine (in quantity and quality) these resources remains a serious concern for farmers (Montcho et al., 2018; Koura et al., 2021).

In summary, the identified feeding strategies were distinguished by major features, including the type of feed supplements, season of the year, and species of small ruminants.

Management of the animals

The management of small ruminants varied according to the season of the year, the small ruminant species, and the AEZ ($p \leq 0.05$). In the dry season, goat and sheep were mainly in free roaming (more than 95 % and 88 % in goat farms and sheep farms, respectively) irrespective of AEZ, due to the lack of crops, which corroborates results of some works conducted in different AEZ (Houessou et al., 2021; Azando et al., 2022; Koura et al., 2024). The concentration of Peulh and Dendi ethnic farmers, who have a long tradition of ruminant rearing with supervised animals on grazing land, could explain the controlled roaming observed in some sheep farms (25 % of farms) in the Mekrou-Penjari and South Borgou AEZ. Additionally, the goats' non-gregarious instinct, which makes it difficult for a goatherd to supervise them, and the animals' lack of training, could explain the driving difference between goats and sheep according to the season of the year. In addition, some farmers believe that goats are better able to find feed on themselves during the dry season, whereas sheep require the presence of a shepherd to conduct them to grazing areas. However, free roaming exposes animals to greater risks, such as feed poisoning, exposure to disease, and loss of animals due to theft, road accidents, and predation. The decision of farmers in whole, not to allow goats and sheep to roam freely during the rainy season, except in the South Borgou AEZ, is linked to the presence of crops on the fields during this period. Stall feeding or tethering in pasture was more prevalent for goats than for sheep, while controlled roaming was more common with sheep. The lack of proximity of fields to homes could justify the fact that animals are allowed to roam freely during the rainy season in the South Borgou AEZ. The existence of local decisions taken by village or commune chiefs to require small ruminants to be kept in confinement during the rainy season, which is the cropping season, has also contributed to this trend. This restriction on access to fields helps limit conflict situations between crop producers and livestock farmers, as well as reduce injuries to freely roaming animals by farmers (Dahouda et al., 2019; Houessou et al., 2021). These animal driving ways observed during the rainy season influence the animal strategies for accessing feed resources. In the case of animal confinement, farmers have to provide feed, either from natural pasture resources, or produced, or purchased. Although tethering in pasture is a common management practice for small ruminants in many parts of Africa (Boogaard et al., 2012; Dahouda et al., 2019; Dosseh et al., 2021; Mataveia et al., 2021), this practice would negatively impact the animal if it is placed in the wrong location (Salem et al., 2008; Byaruhanga et al., 2015). The originality of this work lies in the fact that it explores the different combinations for the benefit of animals, of the feed resources available and accessible according to the AEZ, the seasons of the year, and the species of small ruminants present in the farms.

Feed resources and nutrient contents

Several woody leaves were used in small ruminant farms and were specific to AEZ; these findings corroborate results of some authors (Carew et al., 1980; Bayala et al., 2014; Naah et al., 2019; Dahouda et al., 2019; Ouédraogo et al., 2021; Koura et al., 2021) in Burkina-Faso, Ghana, Benin, and other Sahelian regions of West Africa. Goats and sheep tend to prefer the tree and shrub leaves as good feed sources more than cattle (Ouédraogo-Koné et al., 2006; Sanon et al., 2007). The fact that this study was carried out during the dry season could justify the high proportion of woody resources cited by farmers compared to herbaceous resources, because woody leaves were more available and accessible during this period. The high rate of use of woody leaves could also be attributed to a greater awareness of these resources among livestock farmers compared to herbaceous forage. A similar observation was made in the semi-arid region of Northwest Brazil by Albuquerque et al. (2015), who also reported that local agro-pastoralists cited more herbaceous forage species during the rainy season and woody forage during the dry season. The leaves of *Newbouldia laevis* and *Zanthoxylum zanthoxyloides* were used more in the Southern AEZ, while in the Northern AEZ, the leaves of *K. senegalensis*, *Pterocarpus eurinaceus*, *Azelia africana*, and *Vitellaria paradoxa*, among others, were requested by farmers. Naah et al. (2019) in Burkina-Faso and Ghana, Koura et al. (2021) in Benin, found similar results that could be explained by the fact that each plant develops according to specific soil and climatic conditions, and varies according to AEZ. However, the increased and uncontrolled request for these resources, mainly during the dry season, compromises their sustainability. The combination of anthropogenic pressures and climate change affects the survival and regeneration of the most preferred trees and shrubs, and threatens livestock keepers' current management practices; this needs to be adequately counteracted (Zampaligré et al., 2013; Ahouangan et al., 2022). Some authors have concluded that natural herbaceous and woody resources, such as *Pterocarpus eurinaceus* and *K. senegalensis*, were in an advanced state of vulnerability due to climate change and anthropogenic pressures (Adomou, 2005; Djenontin, 2010; Berihu et al., 2015; Kalema et al., 2015). Unfortunately, farmers were not aware of any laws regulating the exploitation of these feed resources. Effective solutions must be found to restore and preserve these production resources. This will require training and support for small ruminant farmers in the production, maintenance, and utilization of forage fields, as well as methods for conserving feed resources (Houndjo et al., 2018). Additionally, promoting fodder wood gardens or hedges would be a good way to reduce pressure on community natural resources. Similarly, the preservation or restoration of grazing areas could involve the establishment of community management mechanisms such as sacred zones or forests. Also, consultation and dialogue frameworks bringing together farmers, breeders, and technical, political, administrative, and security

officials could be established locally in the AEZ. Such a melting pot would be responsible for defining the rules for access to and use of fodder and water resources for their sustainable preservation.

Small ruminants were kept in a mixed feeding system, in which crop residues and other resources, such as agro-industrial by-products, were associated with forage resources for animal feeding, as reported by some authors (Montcho et al., 2016; Asante et al., 2018; Dokui et al., 2023). The widespread practice of farming in the study areas, and the existence of small processing units for the products that result from it, justify the availability of these supplementary feed resources. Natural pasture resources provide good quality and sufficient fodder in the rainy season (Naah et al., 2019), while in the dry season, fodder is deficient and must be supplemented with agro-industrial by-products or crop residues (Koura et al., 2016; Montcho et al., 2016; Diogo et al., 2018; Dokui et al., 2023). These authors have demonstrated that crop residues, such as groundnut haulms, cowpea haulms, and rice straw, contribute to the feeding of small ruminants during the dry periods but require supplementation to achieve a substantial increase in animal performance. These authors observed that farmers' knowledge of the nutritional values, availability, and access to these resources could be factors determining their use. The dissemination of research results and the sharing of information through networks of farmers could be good arguments for the appropriate use of these agroindustrial by-products.

Chemical analysis showed that the different categories of feed resources varied in their nutrient components. Their high dry matter content makes them good feed resources for small ruminants. Leaves of woody, agro-industrial by-products (cottonseed cake, soybean bran) and legume haulms (groundnut, cowpea) were valuable sources of CP (about 14 % to 18 %, considering the feed categories) and corroborate many works (Koura et al., 2016 and 2021; Montcho et al., 2016). This rate, being above the recommended 8 % of CP required for proper rumen function, implies that these feed resources can substitute for or complement each other. The acceptable contents of parietal constituents (NDF, ADF) in all categories of feed resources, along with the low relative ADL contents (about 6 %, except for woody leaves), reinforce the interest of these feed resources for small ruminants (Babatounde et al., 2011). As dietary diversity allows animals to select more adequately balanced diets (improved nutrition), there is a strong possibility for ruminants to improve their nutrient status and thus health, well-being, and therefore production (Beck et al., 2020).

The leaves mixture could be used inexpensively as a vegetable protein supplement to wheat straw-based diets for goats without any adverse effects on voluntary intake, nutrient utilization, serum enzymes, and immune status (Anbarasu et al., 2004). Several woody plant leaves

contain secondary compounds, such as tannins, and it is acknowledged that condensed tannins (CT) can affect animal nutrition and growth performance (Rira, 2019). Because the CT-metal ion complex is stable over a wide pH range, it has been reported that a diet with high CT content (above 5 % DM) may reduce the bioavailability of minerals (Salem et al., 1997; Naumann et al., 2017). Nevertheless, for a concentration between 3 and 5 % DM, tannin-containing diets result in meat of a lighter colour, tend to increase milk yield, protein content, and unsaturated fatty acid proportion, and tend to decrease methane emissions from rumen, probably because they protect dietary proteins from ruminal degradation and decrease fatty acid saturation in rumen (Vasta et al., 2008). In Morocco, Boukrouh et al. (2023) showed that *Sulla flexuosa* (rich in tannin) incorporated in Beni Arouss goat diet did not affect milk production or physicochemical composition, with very positive effect for increasing milk level in fatty acids for the diet contained 70 % of *Sulla flexuosa*. Additionally, the anthelmintic effects of flavonoids from the plant family against gastrointestinal parasites in small ruminants have been demonstrated in various studies (Singh et al., 2016; Tchetan et al., 2022; Challaton et al., 2024). Plant secondary metabolites can be a rational approach to modulate the rumen microbiome and modify its function. Some species of rumen microbes improve protein and fiber degradation and reduce feed energy loss as methane in ruminants fed tropical plant species (Beck et al., 2020; Ku-Vera et al., 2020).

Recycling agro-industrial by-products for livestock nutrition has huge potential that is still underutilized, offering excellent ways to gain socioeconomic and environmental benefits by expanding animal feed resources, reducing feed/food competition, and alleviating landfill burden (Koura et al., 2016; Montcho et al., 2016; Kilama et al., 2023). However, additional studies are necessary to focus on affordable storage technology to prolong the storability of agro-industrial by-products, as well as feeding trials to determine the productive performance of livestock fed an agro-industrial by-products-based diet (Kilama et al., 2023). Waste fruits, vegetables, and by-products contain valuable sugar, starch, and oil, which are the main compounds making them highly energetic feeds for ruminants. Additionally, most of these research materials contain sufficient or even higher concentrations of macro- and micro-minerals for ruminant nutrition (Ünlü et al., 2022). Most of the crop residues have low levels of anti-nutrients and are therefore suitable for livestock feeding (Onyeonagu et al., 2010; Njoku, 2010). However, the illiteracy or low level of education among livestock farmers, the poor organization of the structures supervising livestock farming, and the lack of platforms dedicated to information exchange hinder livestock farmers in their choice of diet composition or adequate feed supplementation (Montcho et al., 2018). As a result, the productivity of small ruminant livestock is low, hindering the achievement of the objective of improving local meat production capacity in order to guarantee food security for the Beninese population. Based on

the results of this study, forage ligneous plants with good potential in terms of adaptation to agro-ecological conditions and nutritional values, as well as agro-industrial and crop by-products, should be the subject of further study. These prospective studies will document and investigate the feed preferences of small ruminants and how the animal's body uses these feed resources.

Conclusion

This study highlighted feeding strategies in small ruminant farms in Benin, and four trends emerged: i) exclusive natural pasture use, ii) supplementation with agro-industrial by-products, iii) supplementation with agro-industrial by-products and crop residues, and iv) supplementation with agro-industrial by-products and crop residues during the dry season. These feeding strategies were related to the ethnicity of farmers, the species of small ruminants, and the season of the year. The various categories of feed resources are suitable for feeding small ruminants due to their nutritional value. However, optimum management of these feed resources must be ensured. Educating livestock farmers through the dissemination of research results and training courses on the quality of feed resources could enable them to utilize feed resources more effectively in their immediate environment.

This study recommends among otherthings, for practical purposes, supporting farmers to develop fodder gardens and training these farmers on the conservation of agricultural residues as well as agro-industrial by-products. These actions could contribute to improving productivity on small ruminant farms. The present study is the first step towards finding sustainable feeding solutions for small ruminant farming systems in Benin.

Section expérimentale

Etude 3 :

Forage Preference, Voluntary Intake, and In Vivo Digestibility of Six
Tropical Tree Leaves by Sheep in Semi-Arid Areas in Benin Republic
(West Africa)

Chapitre 5, étude 3 : Forage Preference, Voluntary Intake, and In Vivo Digestibility of Six Tropical Tree Leaves by Sheep in Semi-Arid Areas in Benin Republic (West Africa)

Résumé opérationnel

L'utilisation des ligneux fourragers pour l'alimentation des petits ruminants est une pratique traditionnelle qui demeure pertinente face à la dégradation quantitative et qualitative des pâturages naturels. Toutefois, la transmission des savoirs liés à l'élevage s'effectue majoritairement de manière verticale, au sein des familles, sans bénéficier d'un appui technique et scientifique structuré. Cette lacune limite l'exploitation optimale des ressources de production, notamment des ligneux fourragers. La présente étude, axée sur l'évaluation des préférences alimentaires des ovins pour différentes feuilles de ligneux, vise à fournir des recommandations pour une gestion rationnelle et durable de ces ressources dans les systèmes d'élevage. Ces orientations contribueront à réduire la pression exercée sur les ligneux fourragers, tout en favorisant leur préservation et leur intégration durable dans les pratiques pastorales.

Section expérimentale

Etude 3:

Forage Preference, Voluntary Intake, and In Vivo Digestibility of Six
Tropical Tree Leaves by Sheep in Semi-Arid Areas in Benin Republic
(West Africa)

<i>Sustainability 16.6 (2024): 2270</i>

Euvrard L. R. Gninkplékpo, Bossima Ivan Koura, Paolo D. A. Lesse, Alain Yaoïtcha, Jodelet
Accalogoun, Jean-Luc Hornick, Jean-François Cabaraux, Marcel R. B. Houinato

Abstract

Livestock supplementation with forage trees is becoming a sustainable alternative to traditional grazing on the open pastures during the dry season in Benin. However, little is known about the feeding preferences of sheep and the digestibility of such a native tree/shrub fodder. Such knowledge could improve their use on smallholder farms. Multiple-choice feeding preference tests were conducted on six tree fodders (*A. senegalensis*, *B. sapida*, *C. sieberiana*, *G. arborea*, *K. senegalensis*, and *M. indica*) to determine the best choice to feed the local rams and ewe Djallonke sheep. The cafeteria test involved four rams and four ewes. In addition, an in vivo trial using metabolic cages was conducted to evaluate the voluntary intake of dried woody leaves and the dry matter digestibility of diets containing these dried leaves. Preferences varied significantly ($p \leq 0.05$) according to the woody species. Based on relative intake values, sheep preferred, in decreasing order, the leaves of *M. indica*, *B. sapida*, *K. senegalensis*, *G. arborea*, *A. senegalensis*, and *C. sieberiana*. The apparent digestibility of dry matter was the highest ($p \leq 0.01$) in the *G. arborea* diet (86.8%), all diets presented a value higher than 70%. This study provided helpful information about better resource utilization to improve animal productivity. Further study could evaluate the growth performance of sheep supplemented with tree fodder.

Key words: forage trees; nutritive value; neutral detergent fiber; productivity; sustainable

Introduction

A challenge in ruminant production is meeting the forage requirements for livestock, especially in the context of specific climate conditions and land use changes. In recent decades, global environmental changes have severely affected traditional pastoral strategies in sub-Saharan Africa (Linstädter et al., 2016; Ouédraogo et al., 2021; Koura et al., 2021). These changes affected pastoralist livelihoods due to a lower financial income from decreased animal productivity (Martin et al., 2016; Timpong-Jones et al., 2023) and pastoralist resilience strategies because of the impacts on feed resources (Ouédraogo et al., 2021; Krättli et al., 2013; Turner et al., 2014; Molotoks et al., 2021). Farmers adopted various coping strategies to deal with climate disturbances and anthropic pressure. These strategies vary according to their prosperity level and economic resources (Yegbemey et al., 2014; Assani et al., 2024). Improving traditional pastoralism systems is needed as an adaptation and mitigation strategy to be used by smallholder farmers in Benin (Assani et al., 2024). Small ruminants are kept on small-scale farms and play an important role in the livelihood strategies of resource-poor farmers (Kaumbata et al., 2020; Houessou et al., 2021), including income generation, insurance (sell for cash to meet unexpected expenditures), economic security (sell for cash to support foreseeable expenses), social/religious functions, and prestige in ownership (Dossa et al., 2015). Sheep rearing is particularly an important activity generating income for farmers due to the animal sale value in extensive production systems in rural areas and in fattening systems around cities (Dossa et al., 2015; Zanou et al., 2022).

Several studies investigated using woody plant leaves as feed in small ruminant farms (Kouato et al., 2021; Azando et al., 2022). Their permanent availability over the year and their palatability increase their use (Houessou et al., 2021; Babatounde et al., 2011; Naah et al., 2020; Dahouda et al., 2019). It has been found that when grasses and other herbaceous forage become scarce on rangelands during the dry season, the quantitative and qualitative imbalance in ruminant rations can be corrected by using one or more woody forage species (López Benavides et al., 2022). Supplementing sheep with woody leaves results in good growth performance (Ouédraogo et al., 2021; Babatounde et al., 2011; Awohouédji et al., 2013; Dimon et al., 2018). The potential reducing effect on greenhouse gas emission levels by ruminants consuming woody leaves containing some tannins has been reported (Sarkwa et al., 2021). Therefore, well-known and used tree species like *Moringa oleifera*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *K. senegalensis*, and *Azvelia africana* are over-harvested (Buyinza et al., 2015; Imorou et al., 2016), and some of their populations are declining (Honvou et al., 2022; Kyarikunda et al., 2017). It is also possible to explore the utilization of some less-used tree fodders in small ruminants' nutrition, particularly in semi-arid areas. It is thus necessary to

investigate the possibility of using native species growing easily in semi-arid areas (e.g., *A. senegalensis* and *C. sieberiana*) or species that could be cultivated (e.g., *G. arborea*, *M. indica*, and *K. senegalensis*) in order to reduce the pressure on the overused woody. This investigation could include the nutritional value of the fodder trees, animal preference, and feed digestibility. Ruminant feeding preference studies are important for designing new feeding systems to optimize the use of these feed resources and sustainably manage them (López Benavides et al., 2022; Sitou et al., 2023). The apparent digestibility value of a feed resource or diet for ruminants reflects their rumen's predisposition to use and digest it (Idan et al., 2020). In Benin, little is known about the feeding preferences of ruminants, particularly sheep, for most of the native tree fodders and their digestibility. However, it is important to develop strategies for effective farm utilization to cope with specific climate conditions and land degradation. Therefore, this study aimed (i) to evaluate Djallonke sheep preference for six browse species using dry matter intake and (ii) to assess the dry matter digestibility of these tree/shrub fodders.

Material and methods

Study area

The study was conducted at the research center of Ina (CRAN-Ina) from the National Institute of Agricultural Research of Benin (INRAB) in the municipality of Bembéréké (10°13' N and 02°40' E) in the northeast of Benin Republic (Figure 28). The climate is dry tropical, characterized by one rainy season (from May to October) and one dry season (from November to March). The average annual rainfall over the last thirty years was 1114 mm. April is the hottest month (39 °C on average), and November is the coldest (25 °C on average) [30]. The vegetation is a tree and shrub savannah with some gallery forests (Akoègninou et al., 2006). The plant species found in this area include *Isobertina doka*, *K. senegalensis*, *Gardenia ternifolia*, *Terminalia avicennoides*, *Parkia biglobosa*, *Combretum nigricans*, *Detarium microcarpum*, *Gardenia erubescens*, and *Vitellaria paradoxa*. Ruminant farming is widespread and comprises cattle, sheep, and goats. These animals are raised in extensive systems with low inputs.

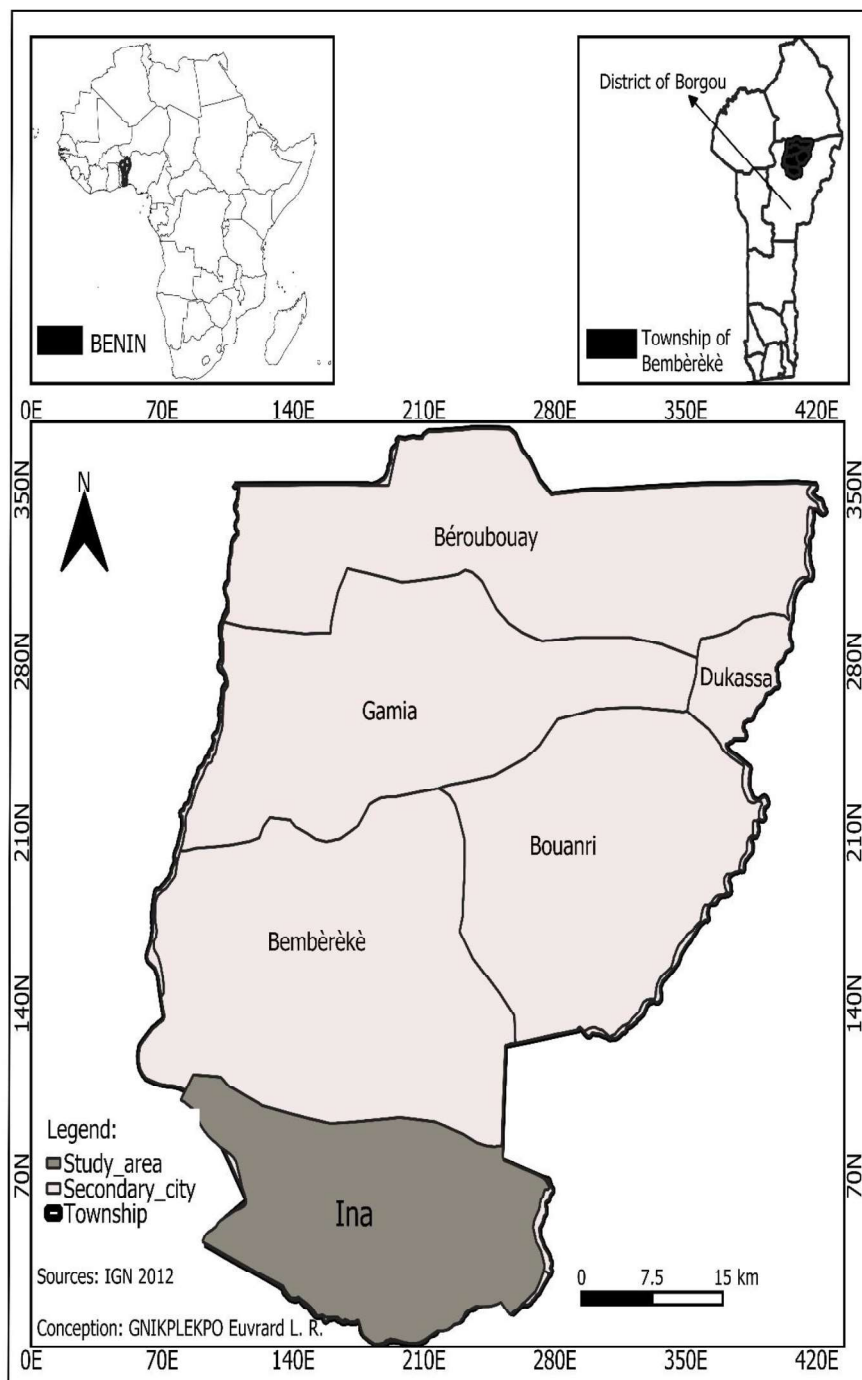


Figure 28: Map of study area.

Woody Plant Selection

The species investigated were *A. senegalensis* (shrub, A. ceae (AS)), *B. sapida* (woody species, Sapindaceae (BS)), *C. sieberiana* (woody species, Fabaceae (CS)), *G. arborea* (woody species, Lamiaceae (GA)), *K. senegalensis* (woody species, Meliaceae (KS)), and *M. indica* (woody species, Anacardiaceae (MI)). These plant species were chosen because they are used in small ruminant farming, and available in the study environment. Leaves from each tree and shrub were collected from three areas excludes around Ina town. From each enclosure, leaves (about 1 kg per plant) from 15 phenologically similar (vegetative growth stage) mature plants of the respective species were collected by hand-clipping during the dry season of 2021 (between March and May). Immediately after collection, a mixture of different leaf samples was made per plant species, and a representative sample of 0.3 kg per plant species and leaves were air-dried under shade and stored in dry conditions for future analysis.

Experiment 1: Cafeteria Trial

Animal Management

Four mature rams and four mature ewes of similar age (2 ± 0.30 years) and weight (18.22 ± 0.78 kg) from the Djallonke breed were used. The animals were selected from the CRAN-Ina herd. They were housed in individual pens ($1.5 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$) (Figure 30)) located next to each other in a closed, sufficiently ventilated, daylight dwelling. Three weeks before starting the trial, the animals were vaccinated against the Small Ruminant Plague. The animals were dewormed using Albenol® (albendazole), and treatment was made against external parasites using Cybertop® (cypermethrin, chlorpyrifos, and piperonyl butoxide).

Experimental Design

The animals were familiarized with the six dried woody plant leaves and were accustomed to eating them in six plastic feeders. The adaptation period lasted ten days, and the animals were offered simultaneously 50 g of dried leaves from each plant for 30 min in the morning. Each plant was randomly allocated to a plastic feeder during this period. Two observers were present during the adaptation period and positioned on the opposite side of the feeder row to accustom the animals to their presence. At the end of the 30-min adaptation, all leaves were removed, and the diet (*Panicum maximum* C1 hay ad libitum and maize bran (100 g)) was provided in a separate feeder positioned at the opposite side of the row of troughs. The trial lasted ten days. During this, 50 g of each browse species was provided daily at 9 a.m. for 30 min. The location of a particular species in a trough was randomly determined each day to avoid conditioning

learning (i.e., the association between feeder position and browse species), as Alonzo-Díaz et al. (Alonso-Díaz et al., 2008) suggested. The observation time was divided into three 10 min periods for intake measurement; the plants were thus weighed four times, at T0 and after each 10 min interval (T1, T2, and T3). Moreover, the two observers recorded the length of time a particular browse species was consumed, with two sheep observed alternating each day. The dried leaves were removed after the 30 min observation period, and a diet was offered.

Data Collection and Processing

The dried leaf intake (g) was calculated as the difference between the quantities offered and the remaining as measured. The dry leaf intake per visit (g) was calculated as the ratio between the total intake of a browse species and the total number of visits to this plant during the 30 min. Visits were recorded only when there was actual leaf consumption. The eating time (min) was recorded when sheep visited browse species, and actual consumption occurred. Intake rate (g/min) was calculated as the total amount of a specific browse species consumed during 30 min divided by the total time spent eating it. The relative intake (RI) was calculated according to the following formula:

$$RI_i = \frac{q_i}{Q} \times 100 \quad (1)$$

where Q is the sum of the quantities of all the woody dried leaves served (i.e., 300 g), and q_i is the quantity of the i type of woody.

The preference coefficient (PC) was calculated following the formula (Montcho et al., 2017):

$$PC = \frac{RI_i}{\sum RI_i} \quad (2)$$

where RI is the relative intake. Samples of each browse species, maize bran, and *Panicum maximum* C1 hay were collected daily until the end of the trial, pooled by species/feed type, ground to pass a 1 mm sieve, and stored at room temperature, awaiting chemical analysis.

Experiment 2: In Vivo Digestibility Trial

Experimental Design

The four woody plant leaves that were most preferred and easily cropped were selected for an in vivo digestibility trial conducted on twenty adult Djallonke sheep rams with a live weight of 16.5 ± 3.6 kg. These animals were divided into five groups of four, distributed in individual

metabolic cages. Each animal group was randomly assigned to a diet. The amount of feed (g of DM) offered per animal was based on 4% of live weight, as suggested by Kearl et al., (1982). The control diet (R0) comprised 70% *Panicum maximum* C1 hay and 30% maize bran. The four experimental diets were composed of 60% *Panicum maximum* C1 hay, 10% maize bran, and either 30% *B. sapida* (RBS), 30% *G. arborea* (RGA), 30% *K. senegalensis* (RKS), or 30% *M. indica* (RMI) dried leaves.

This study lasted 14 days: seven days of adaptation of the animals to the diet, and the metabolic cage (Figure 29) and seven days of sampling. The diets were served in two steps: at 8 a.m. and 4 p.m. Each morning, the previous day's feed refusals were quantified before the first feed service of the day. Samples of feces (20% of total feces) were collected per animal. These samples were then pooled per group of animals (according to the diet and the sampling day), and a 300 g homogenized sample was collected for laboratory analysis to establish nutrient digestibility. The rams had free access to water and mineral lickstones throughout the study. Voluntary feed intake was calculated as follows:

$$\text{Nutrient ingested (g}\cdot\text{d}^{-1}\text{)} = \text{Nutrient distributed (g}\cdot\text{d}^{-1}\text{)} - \text{Nutrient refused (g}\cdot\text{d}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

The apparent digestibility (d_a) was calculated by balancing the nutrients ingested and excreted according to the formula:

$$d_a = \frac{\text{Ingested nutrients} - \text{Excreted nutrients}}{\text{Ingested nutrients}} \times 100 \quad (4)$$



Figure 29: Sheep in metabolic cages (© E. Gninkplékpo)



Figure 30: Individual pens for sheep (© E. Gninkplékpo)

Chemical Composition Analysis

Samples of dried leaves, *P. maximum* C1 hay, maize bran, and feces were chemically analyzed according to the Association of Official Analytical Procedures (Horwitz et al., 2002). The samples were oven-dried for 48–72 h at 60 °C to determine the DM (Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) procedure n° 967.03). These samples were ground at 1 mm (Cyclotec de Tecator) for organic matter analysis (OM) (AOAC procedure n° 923.03). The contents of crude protein (CP) (AOAC procedure n° 978.04), neutral detergent fiber (NDF) (Van Soest), and acid detergent fiber (ADF) (Van Soest) were also determined. The spectrometric near-infrared method determined mineral contents (calcium (Ca), Phosphorus (P), Magnesium (Mg), K (Potassium), and nitrogen (Na)).

Statistical Analysis

Descriptive statistics for means and standard deviation were calculated for the parameters. The discrimination of the woody plant leaves based on their chemical components was established using principal component analysis (PCA). The GLM procedure in SPSS 23.0 software was used to compare the DM intake during observation periods, relative intake, and preference coefficient between fodders according to animal sex for the first trial, and the DM and nutrient digestibility according to the diets for the second trial.

The model was: $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$, where Y is the single data, μ is the mean, T is the tree leave effect ($i = 6$; AS, BS, CS, GA, KS, MI), the animal sex effect or the diet effect ($i = 5$; R0, RMI, RBS, RKS, RGA), and E is the error term. The Newman-Keuls test was used to explore the significance of differences at the 5 % level.

Results

Chemical Composition of Dried Woody Plant Leaves

Table 23 shows the chemical composition of the various dried woody fodders studied. These dried leaves generally had a high dry matter content (85 % to 92 %). The neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) varied from 410 g/kg DM in *G. arborea* leaves to 475 g/kg DM in *K. senegalensis* leaves and from 238 g/kg DM in *G. arborea* leaves to 335 g/kg DM in *B. sapida* leaves, respectively. However, the NDF value was the highest in *P. maximum* C1 hay (718 g/kg DM). The *C. sieberiana* leaves had the highest total CP (231 g/kg DM), while *M. indica* leaves presented the lowest value (83 g/kg DM). The *B. sapida* leaves had the highest Ca (35.5 g/kg DM) and Mg (4.1 g/kg DM) contents. The *C. sieberiana* leaves had the highest K (22.1 g/kg DM) and P (3.6 g/kg DM) contents. The principal component analysis bi-

plot (Figure 31) showed two categories of woody resources according to their leaves' CP and mineral content. These were (i) resources rich in CP and potassium, such as *C. sieberiana* and *G. arborea* (cluster 1), and (ii) resources less rich in CP and high in calcium (cluster 2), which concerned other tree leaves studied. In addition to their high fiber contents (NDF and ADF), *P. maximum* c1 hay and maize bran, with the highest sodium and phosphorus contents, respectively, represented the third cluster. The two principal components explained about 75% of the total variation, with about 40% for PC1 and about 35% for PC2.

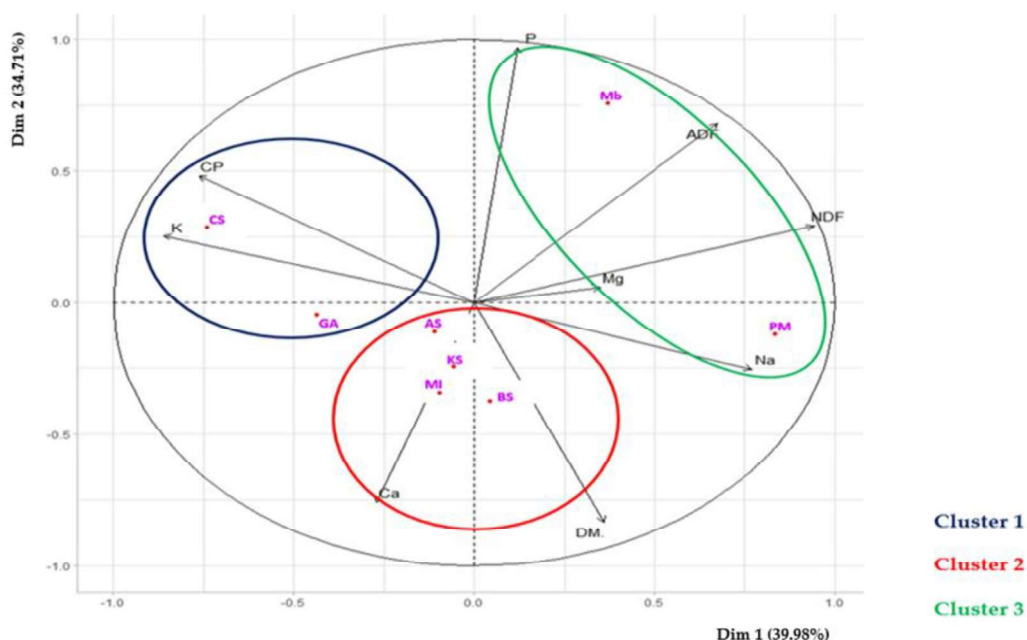


Figure 31: Chemical composition of feed resources projection on Principal Component Analysis axes.

DM: Dry Matter; CP: Crude Protein; NDF: Neutral Detergent Fiber; ADF: Acid Detergent Fiber; Ca: Calcium; P: Phosphorus; K: Potassium; Na: Sodium; Mg: Magnesium; AS: *A. senegalensis*; BS: *B. sapida*; CS: *C. sieberiana*; GA: *G. arborea*; KS: *K. senegalensis*; MI: *M. indica*; PM: *Panicum maximum* C1 hay; Mb: Maize bran.

Table 23: Chemical composition of dried woody plant leaves

Dried Woody Plant Leaves	DM	CP	NDF	ADF	Hem	Ca	P	K	Na	Mg
	(g/kg)					(g/kg DM)				
<i>A. senegalensis</i>	860.0	85.0	450.0	277.9	172.5	18.1	1.1	9.8	0.1	3.0
<i>B. sapida</i>	890.0	98.0	506.3	334.6	171.7	35.5	1.5	12.0	0.2	4.1

<i>C. sieberiana</i>	897.0	231.0	417.8	245.4	172.4	8.7	3.6	22.1	0.2	2.2
<i>G. arborea</i>	870.0	127.0	410.3	238.0	172.3	16.7	1.6	18.7	0.1	2.6
<i>K. senegalensis</i>	920.0	96.0	474.7	302.8	171.9	19.8	1.1	8.6	0.2	2.1
<i>M.indica</i>	850.0	83.0	470.1	298.1	172.0	22.8	1.1	9.2	0.3	1.8
Other feed resources										
<i>Panicum maximum</i> C1 hay	840.0	34.0	718.3	422.0	296.3	6.3	1.5	3.7	3.1	2.9
Maize bran	660.0	128.0	650.5	620.6	29.9	0.2	8.7	10.6	---	3.2

DM: Dry Matter; CP: Crude Protein; NDF: Neutral Detergent Fiber; ADF: Acid Detergent Fiber; Hem: Hemicellulose; Ca: Calcium; P: Phosphorus; K: Potassium; Na: Sodium; Mg: Magnesium; ---: no value.

Dried Woody Plant Leaves Preference by Sheep

The relative intake (RI) values of dried woody plant leaves during the observation time varied from 7 to 17 % in females and 8 % to 18 % in males (Table 24). The highest relative intake values were found for *M. indica* leaves (17.7 and 17.3 %) and the lowest for *C. sieberiana* leaves (8.1 and 7.4 %) for rams and ewes, respectively. The preference coefficients (PC) of dried woody leaves followed a similar trend. The values recorded for this parameter varied from 0.01 to 0.23 in rams and ewes. Regarding real consumption time and number of visits (Table 25), differences ($p \leq 0.001$) were found for dried woody plant leaves. Irrespective of sex, sheep spent more time eating and visiting *B. sapida* than *C. sieberiana* leaves.

Table 24: Relative intake and preference coefficient of dried woody plant leaves by sheep according to sex

Dried Woody Plant Leaves	Relative Intake (%)	Preference Coefficient
Ram		
<i>A. senegalensis</i>	11.8	0.142
<i>B. sapida</i>	16.9	0.214
<i>C. sieberiana</i>	8.1	0.011
<i>G. arborea</i>	14.4	0.171
<i>K. senegalensis</i>	13.9	0.173
<i>M.indica</i>	17.7	0.212
Ewe		
<i>A. senegalensis</i>	11.4	0.151
<i>B. sapida</i>	14.7	0.202
<i>C. sieberiana</i>	7.4	0.013
<i>G. arborea</i>	11.9	0.163
<i>K. senegalensis</i>	11.4	0.154
<i>M.indica</i>	17.3	0.233

Table 25: Real-time consumption and number of visits of dried woody plant leaves by sheep according to sex

Dried Woody Plant Leaves	Real-Time Consumption (in Second/30 min)	Number of Visits (in 30 min)		
Ram	Mean $\pm$ Standard Deviation			
<i>A. senegalensis</i>	164.5 $\pm$ 64.9 ^{ab}	5.1 $\pm$ 1.5 ^b		
<i>G. arborea</i>	214.3 $\pm$ 82.6 ^b	5.4 $\pm$ 0.5 ^b		
<i>B. sapida</i>	353.1 $\pm$ 73.8 ^a	7.4 $\pm$ 1.1 ^a		
<i>C. sieberiana</i>	116.6 $\pm$ 81.4 ^c	3.6 $\pm$ 1.3 ^d		
<i>K. senegalensis</i>	267.9 $\pm$ 71.9 ^{ab}	6.1 $\pm$ 0.8 ^b		
<i>M.indica</i>	196.3 $\pm$ 38.2 ^{ab}	4.1 $\pm$ 0.9 ^c		
Ewe	Mean $\pm$ Standard Deviation			
<i>A. senegalensis</i>	251.6 $\pm$ 88.4 ^{ab}	6.4 $\pm$ 0.7 ^b		
<i>G. arborea</i>	126.0 $\pm$ 30.3 ^b	5.8 $\pm$ 0.6 ^b		
<i>B. sapida</i>	303.2 $\pm$ 144.0 ^a	8.1 $\pm$ 2.2 ^a		
<i>C. sieberiana</i>	34.3 $\pm$ 28.4 ^c	1.8 $\pm$ 0.9 ^d		
<i>K. senegalensis</i>	199.4 $\pm$ 64.2 ^{ab}	6.1 $\pm$ 1.8 ^b		
<i>M.indica</i>	240.6 $\pm$ 77 ^{ab}	4.3 $\pm$ 0.8 ^c		
	SEM	<i>p</i>	SEM	<i>p</i>
Tree leaves	27.03	0.001	0.42	0.001
Sex	15.60	0.242	0.24	0.808
Tree leaves $\times$ sex	38.23	0.126	0.60	0.184

a,b,c: Values with the same letter in a column mean that they are not different at a 5% level (test); SEM: Standard Error of Mean; *p*: Probability.

Table 26 shows the average dry matter intake of the dried leaves of each woody plant at 10 and 30 min, with significant variation ($p \leq 0.05$) according to animal sex and plant type. *M. indica* leaves were the most consumed by males and females during the first 10 min, with about 40 g DM, followed by *B. sapida* leaves; *C. sieberiana* leaves were the least ingested. After 30 min, the feed intake pattern was not different. The sheep consumed the same amount of *M. indica* and *B. sapida* leaves (47 g for the rams and 43 g for the ewes), followed by the same amount of *A. senegalensis*, *G. arborea*, and *K. senegalensis* leaves (36 g for the rams and 31 g for the ewes). The intakes by active consumption time (intake rate) and by visit showed significant variation according to dried woody plant leaves ($p \leq 0.001$) and the interaction ($p \leq 0.05$). The consumption per passage was higher for *M. indica* and *G. arborea* leaves for rams and for *C. sieberiana* leaves for ewes.

During the three successive observation time periods of 10 min, the behavior of the animals towards the woody plants differed (Figure 32). The maximum values of DM intake were

recorded during the first 10 min for sheep ($p \leq 0.001$). During the second 10-minute phase, almost all the woody material served was ingested. During the last 10-minute phase, the woody plants less consumed during the previous phases were the most approached by the animals. So, during the third period, *C. sieberiana* leaves were the most ingested resource in ewes, while it was *A. senegalensis* leaves in rams ($p \leq 0.001$).

Table 26: Average intake values of dried woody plant leaves by sheep according to sex

Dried Woody Plant Leaves	Intake (g DM/10 Min)		Intake (g DM/30 Min)		Intake Rate (g DM/TRC)		Intake (g DM/Visit)	
Ram	Mean ± Standard Deviation							
<i>A. senegalensis</i>	12.9 ± 2.8 ^{de}		31.6 ± 8.1 ^b		0.2 ± 0.1 ^{abc}		6.3 ± 0.8 ^c	
<i>B. sapida</i>	28.9 ± 8.8 ^b		46.5 ± 3.4 ^a		0.1 ± 0.0 ^c		6.4 ± 1.2 ^c	
<i>C. sieberiana</i>	10.9 ± 4.8 ^e		21.9 ± 4.0 ^c		0.3 ± 0.1 ^a		6.6 ± 2.0 ^b	
<i>G. arborea</i>	25.1 ± 6.7 ^{bc}		39.4 ± 3.6 ^b		0.2 ± 0.0 ^{ab}		7.3 ± 1.0 ^{bc}	
<i>K. senegalensis</i>	19.8 ± 6.9 ^{cd}		37.7 ± 5.5 ^b		0.2 ± 0.1 ^{bc}		6.3 ± 1.5 ^{bc}	
<i>M.indica</i>	41.8 ± 2.7 ^a		47.8 ± 0.3 ^a		0.3 ± 0.1 ^a		12.1 ± 2.6 ^a	
Ewe	Mean ± Standard Deviation							
<i>A. senegalensis</i>	16.0 ± 5.1 ^{de}		31.5 ± 4.9 ^b		0.1 ± 0.0 ^{abc}		4.9 ± 0.7 ^c	
<i>B. sapida</i>	20.6 ± 8.6 ^b		39.7 ± 10.5 ^a		0.1 ± 0.0 ^c		4.8 ± 0.3 ^c	
<i>C. sieberiana</i>	6.8 ± 1.4 ^e		20.2 ± 4.8 ^c		0.9 ± 0.7 ^a		10.4 ± 2.2 ^b	
<i>G. arborea</i>	20.1 ± 9.2 ^{bc}		32.2 ± 6.4 ^b		0.3 ± 0.0 ^{ab}		5.6 ± 1.1 ^{bc}	
<i>K. senegalensis</i>	13.7 ± 1.1 ^{cd}		30.6 ± 6.1 ^b		0.2 ± 0.1 ^{bc}		5.5 ± 2.4 ^{bc}	
<i>M.indica</i>	38.7 ± 7.7 ^a		46.7 ± 2.1 ^a		0.2 ± 0.1 ^a		11.3 ± 2.6 ^a	
	SEM	<i>p</i>	SEM	<i>p</i>	SEM	<i>p</i>	SEM	<i>p</i>
Tree leaves	2.2	0.001	1.98	0.001	0.076	0.001	0.63	0.001
Sex	1.3	0.031	1.15	0.019	0.044	0.086	0.51	0.434
Tree leaves × Sex	3.08	0.551	2.80	0.601	0.10	0.007	0.89	0.032

^{a,b,c}: values with the same letter in a column mean that they are not different at a 5% level;
SEM: Standard Error of Mean; *p*: Probability; DM: Dry Matter; TRC: Real Time of Consumption.

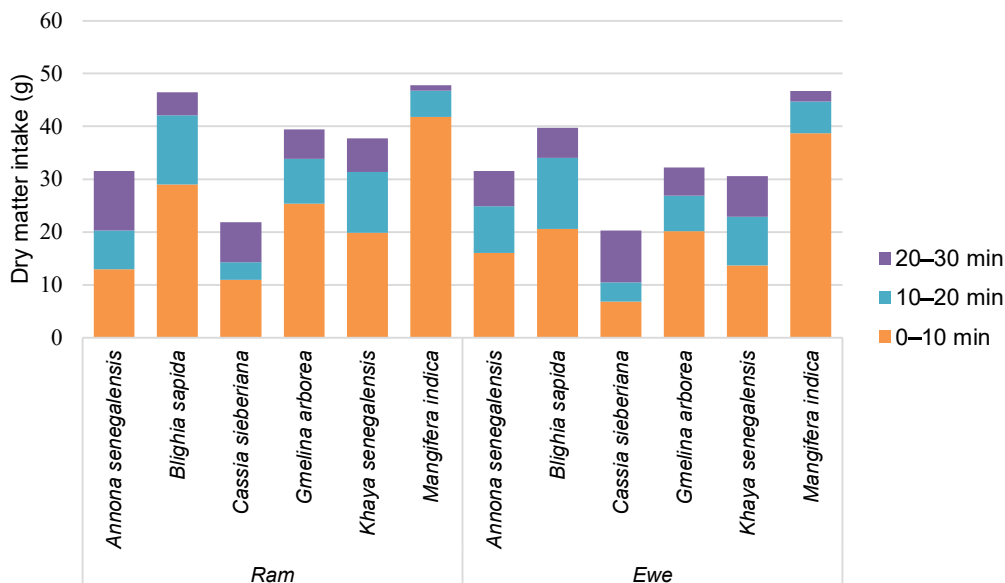


Figure 32: Dry matter intake of dried woody plant leaves by sheep according to sex across observation periods.

Voluntary Intake and Digestibility of Dry and Organic Matters of Dried Woody Plant Leaves by Sheep

Table 27 presents the intake and digestibility rates of the different studied diets in sheep. Both DM and OM intakes were higher with diets containing *K. senegalensis* and *M. indica* (708 g DM and 648 g OM) and lower with control and *G. arborea* diets (600 g DM and 525 g OM). The dry and organic matter digestibility were significantly different: diets with *G. arborea* diet (87 % DM and 81 % OM) and *B. sapida* diet (72 % DM and 41 % OM) at both ends, the remaining diet digestibility, including the control diet, being intermediate.

Table 27: Voluntary intake and digestibility of dry and organic matters of diets supplemented with different dried woody plant leaves by sheep.

Diet	<i>G. arborea</i>	<i>B. sapida</i>	<i>K. senegalensis</i>	<i>M.indica</i>	Control	SE	<i>p</i>
Quantity of feed served (g DM)							
Woody leaves	180.6	186.6	183.2	182.4	0.0	--	--
Maize bran	130.4	130.4	130.4	130.4	173.8	--	--
<i>Panicum maximum</i> c1 hay	516.5	516.5	549.6	549.6	684.3	--	---
Total offered	827.5	833.5	863.2	862.4	858.1	--	--
Ingestion of diet (g)							
DM	606.6 ^b	693.4 ^a	716.1 ^a	700.8 ^a	594.5 ^b	12.1	0.001
OM	526.6 ^b	582.9 ^b	651.3 ^a	644.6 ^a	523.8 ^b	19.9	0.001
Digestibility of diet (%)							
DMd	86.8 ^a	72.3 ^b	81.7 ^{ab}	75.6 ^{ab}	73.1 ^{ab}	0.01	0.011
OMd	81.4 ^a	41.1 ^b	67.7 ^{ab}	58.3 ^{ab}	71.6 ^{ab}	0.02	0.017

^{a,b,c}: values with the same letter in a line mean that they are not different at a 5%; OM: organic matter; DM: dry matter; DMd: digestibility of dry matter; OMd: digestibility of organic matter

Discussion

Chemical Composition of Woody Plant Leaves

There is a diversity of local trees and shrubs, even at the mature plant stage, with higher protein and lower NDF and ADF contents than tropical grasses (Archimède et al., 2011). The studied woody plant leaves showed variation in nutritional values. The high DM content was because the samples were collected during the dry season, when there was less water in the leaves, and dried before being sent to the laboratory for analysis. However, several studies have reported good (more than 70 %) DM content values for woody plant leaves on some browse leaves in Benin and Nigeria (Imorou et al., 2016; Mafindi et al., 2020). Regarding CP content, the levels were very variable from one leave to another but were for all higher than 8 % DM, with 12 % DM as the mean, near to the values obtained by Imorou et al. in North-East Benin (Imorou et al., 2016), but lower than the average value of 15 % reported by Koura et al. in subhumid zones of Benin (Koura et al., 2021). The quantities of nutrients in the tree leaves vary according to the season (Sarkwa et al., 2021), the various treatments the leaves may undergo (Ikusika et al., 2023), age at harvest [Ojo et al., 2022]), and types of soil (Beyene et al., 2020). The *C. sieberiana* leaves of the Fabaceae family had the highest CP content, followed by that of *G. arborea*; they also had lower levels of parietal structures (NDF, ADF, and

hemicellulose). These characteristics are desirable from a nutritional point of view and make them a good feed that can be valorized in sheep farms (Mengistu et al., 2017). Leaves of *M. indica*, *K. senegalensis*, *B. sapida*, and *A. senegalensis* have less interesting levels of CP and parietal constituents than *C. sieberiana* and *G. arborea* leaves, but their interest lies in their high calcium content, an essential nutrient involved in many valuable metabolic functions, particularly ruminal (Rogosic et al., 2008; Orzuna-Orzuna et al., 2023).

Preference of Dried Woody Plant Leaves by Sheep

In tropical regions, forage trees and shrubs are a major source of energy, protein, vitamins, and minerals for ruminant livestock during the dry seasons (López Benavides et al., 2022; Sarkwa et al., 2021; Imorou et al., 2016; Bamikole et al., 2003; Matovu et al., 2023). These kinds of woody plants in arid and semi-arid areas regenerate very fast during the rainy seasons, resulting in heavy vegetative masses, while during the lean (dry) period, the palatable vegetation, especially the grasses, deteriorates both in quality (low protein content) and quantity (low herbage biomass) (Salem et al., 2006; Osuga et al., 2007). Preference is positively related to palatability; it is the relationship between the feed's traits and animal post-ingest feedback (López Benavides et al., 2022; Van Dyne et al., 1965; Baumont et al., 1996). So, sheep with previous experience with *M. indica*, *B. sapida*, *G. arborea*, *K. senegalensis*, and *A. senegalensis* leaves could explain their strong preference for those resources. Animals used in the trial were purchased in an area where mango leaves are available. These animals had already been exposed to these resources and thus learned to consume them. In rural areas, browse species have a major role in the feeding of animals and alternative commendable typical uses (Atsbha et al., 2020). In addition, the moderate CP content coupled with the low NDF and ADF contents in these leaves could favor this result (Mengistu et al., 2017). Relative acceptance of browse leaves despite having traces of tannin was reported by some authors (Mengistu et al., 2017; Hanovice-Ziony et al., 2010; Pech-Cervantes et al., 2016). Tannins in tree fodder modify microbial fermentation in the rumen and lower the CH₄ emission levels of ruminants (Bhatta et al., 2013). The voluntary intake of a plant with a high tannin concentration could be attributed to the natural tendency of proline-rich protein in ruminants' saliva to attenuate tannin's negative effects (Ventura-Cordero et al., 2017). On the other hand, some authors reported that the presence of calcium hydroxide in feed could be useful for enhancing shrub intake through decreased absorption and/or increased elimination of secondary compounds (Rogosic et al., 2008) and could be used as a nutritional strategy to improve the growth rate and ruminal fermentation in fattening lambs (Orzuna-Orzuna et al., 2023). Tree fodders are also known to be used in small ruminant farms to treat various diseases, more specifically gastrointestinal disorders (Tchétan et al., 2021, 2022; Iwaka et al.,

2022). The low consumption of *C. sieberiana* leaves was probably due to its organoleptic characteristics (bitter taste) and animal taste experience. In a similar study of woody leaf preference by Djallonke sheep in Nigeria, *C. sieberiana* leaves were also less appreciated (Fadiyimu et al., 2011). The low number of visits by sheep to feeders containing *M. indica* leaves and their consumed quantity reinforce the idea that sheep are constantly interested in this resource, whereas the same indicator trend observed for *C. sieberiana* leaves reflects a lack of interest from sheep. Sheep depend on forage as their primary feed source; in the dry season, the forage supply falls, and the one available is fibrous and low in protein (Babatounde et al., 2011; Salem et al., 2008). Unless the diet can be ameliorated, growth rates and lactation will decline, and in extreme cases, mortality, including in adults, will also increase, resulting in an immediate loss of income (Salem et al., 2008). Indeed, Zanou et al. have shown that the market value of sheep is linked to their stoutness, which also represents a consumer choice criterion (Zanou et al., 2023).

The intake measurements for the feed preference study were divided into three consecutive 10-minute intervals to assess the behavior of the animals under different conditions. The first 10-minute measurement was used to compare the preference between the different woody forage leaves served in equal amounts. The following 10-minute periods express less animal preference because unequal amounts of woody forage were available in the feeders. Thus, the behavior of the animals changed according to the availability of feed resources and the needs of the animals (Babatounde et al., 2011). It could be seen in the increase in the intake level of *C. sieberiana* leaves during the last two 10-minute phases, whereas the animals ingested less of this resource during the first 10 min. The results of this study allowed us to classify according to the gradient ($p \leq 0.001$): less preferred as *C. sieberiana* leaves; preferred leaves like *K. senegalensis*, *G. arborea*, and *A. Senegalensis*; and highly preferred as *M. indica* and *B. sapida* leaves. The depletion of the served amount of *M. indica* and *B. sapida* leaves due to their heavy ingestion in the first 10 min probably induced the consumption of the other woody leaves for the rest of the observation time. Without the first choice of feed resources, the sheep had to content themselves with what was still available or, even better, with what would fulfill a specific need. The cumulative consumption curve illustrated this situation regarding the increase in the amount of *C. sieberiana* leaves consumed between the second and third observation periods. It gives an idea of the prioritization of woody leaves regarding main and alternative feed resources for sheep. Improving the palatability of *C. sieberiana* leaves by combining them with other fodder resources that are more palatable could facilitate their optimal use. The *K. senegalensis* leaves are a resource traditionally known to ruminant farmers. The increased use of this plant in recent years by ruminant farmers and for other purposes (firewood, carpentry, herbal medicine) has made it a vulnerable plant (Sewade et al.,

2016). Maintaining this resource in the feeding strategy of small ruminants requires finding solutions for the promotion of its cultivation and the conservation of plants still present in the area.

***In Vivo* Digestibility**

Although the animals receiving the control diet had a rather low feed intake, the diet's DM and OM digestibility did not vary significantly compared to the other diets. However, some authors showed that *K. senegalensis* has a very low feed value due to the low digestibility of the organic matter and its composition of anti-nutritional elements, particularly tannin (Kaboré-Zoungrana et al., 2008; Ketzis et al., 2006). Indeed, under in vitro conditions, the amount of tannin influences digestibility in a diet; tannin acts on ruminal degradation microbes above a threshold (Ventura-Cordero et al., 2017). Tannins found in some woody leaves form a complex with plant proteins that decreases their rate of digestion in the rumen, thereby decreasing rumen ammonia emissions (Kouato et al., 2021). On the other hand, feeding West African dwarf sheep with *P. maximum* supplemented with *G. arborea* leaves offers potential results in supplying fermentable nutrients needed to enhance a favorable rumen environment for effective microbial activities without any adverse effect on the rumen parameters status of the animals (Binuomote et al., 2022). Introducing *G. arborea* leaves into small ruminant diets improved protein digestibility (Imenger et al., 2023). Moreover, *M. indica* leaves can be used in lambs' rations at a rate of 6% without any harmful effects (Hassan et al., 2020), and *B. sapida* leaves are easily consumed by goats and have a high digestibility of DM and CP (Aderinola et al., 2007). A study on browse leaf digestibility showed that nitrogen retention was positive for some browse species (Avornyo et al., 2020).

Briefly, depending on the species, tree woody foliage may be of lower nutritive value as a sole feed than as a supplement to other feeds, and the significance of anti-nutritive factors becomes more evident when woody foliage is the only feed consumed. In the present trial, the diets supplemented with dried woody leaves all had a DM digestibility above 70 % and proved that they could be substituted for each other; the best results were obtained with *G. arborea*. So woody leaves had a great interest in small ruminants feeding, from the viewpoint of supplementing grass, which is hardly scarce in the dry season, particularly in semi-arid areas.

Conclusion

This study evaluated the feeding behavior of sheep for six dried woody plant leaves and the digestibility of diets containing these leaves. It was found that the different leaves studied had variable contents of different nutrients (crude protein and fibers), which could affect their valuation by animals. The Djallonke sheep preferred the leaves of *M. indica*, *B. sapida*, and *G. arborea* in priority, followed by *K. senegalensis* and *A. senegalensis* leaves in second, and lastly, *C. sieberiana* leaves. Except for *B. sapida* and *C. sieberiana*, which are less cultivated, techniques for growing other forage trees are well mastered in Benin. The digestibility of dry matter in all diets supplemented with woody leaves did not significantly differ from the control diet. Because of the increased pressure on certain feed resources, such as *K. senegalensis* leaves, this study proposes alternatives such as *M. indica* leaves, *B. sapida* leaves, or *G. arborea* leaves in small ruminant feeds to make up for the protein deficit in diets, especially in the dry season. This study was a step towards a better understanding of sheep behavior toward these woody leaves. It provided information to facilitate farmers' choice of woody leaves in sheep feed supplementation and thus increase farm productivity. This study suggested further investigations, such as evaluating the growth performance of animals fed rations containing these woody leaves. It encouraged further reflection and action to promote agroforestry and forage crops as sustainable feed resources for ruminant livestock.

Section expérimentale

Etude 4 :

Effect of incorporating dried cassava (*Manihot esculenta*) peelings or mango (*Mangifera indica*) leaves on intake, growth, and digestibility by Djallonke sheep

Chapitre 6, étude 4: Effect of incorporating dried cassava (*M. esculenta*) peelings or mango (*M. indica*) leaves on intake, growth, and digestibility by Djallonke sheep

Résumé opérationnel

L'élaboration de rations équilibrées, économiquement viables et environnementalement supportable, à partir de ressources alimentaires locales demeure un défi majeur dans le contexte d'élevage de petits ruminants au Bénin. Cette étude, qui enrichit les connaissances sur l'alimentation de ces animaux, vise à évaluer les performances zootechniques et environnementales des ovins nourris avec des rations composées essentiellement de ressources disponibles dans l'environnement immédiat des élevages. Ce travail constitue une contribution à l'optimisation des techniques d'alimentation par la formulation de rations adaptées et une gestion efficace et durables des ressources alimentaires locales.

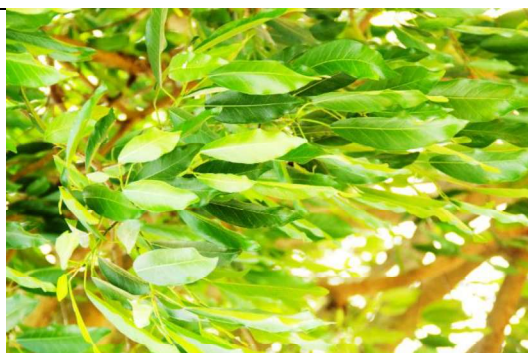


Figure 33 : Feuilles de manguier (*M. indica*)

(© E Gninkplékpo)



Figure 34 : Tourteau de coton (*Gossypium hirsutum*)

(© E Gninkplékpo)

Section expérimentale

Etude 4:

Effect of incorporating dried cassava (*Manihot esculenta*) peelings or mango (*Mangifera indica*) leaves on intake, growth, and digestibility, by

Djallonke sheep

<i>To submit</i>

Abstract

Several feed resources are used to supplement small ruminants in Benin to compensate for the imbalance induced by the availability and quality of natural pastures. However, the sometimes high purchase price of certain supplementary feeds limits their adoption by farmers. Therefore, the use of locally available resources such as cassava (*M. esculenta*) peelings or mango (*M. indica*) leaves, whose market value is not a limiting factor, is an alternative to cottonseed cake. This study aimed to analyse the effect of rations incorporating these resources as a partial replacement for cottonseed cake on zootechnical performance. To this end, 18 Djallonké sheep were divided into three homogeneous groups of six animals, each with a similar initial average live body weight. All batches were fed *Panicum maximum* c1 hay as a staple, and the experimental diets consisted of: R0 (1000 g *Panicum maximum* c1 hay + 200 g cotton seed cake); R1 (850 g *Panicum maximum* c1 hay + 100 g cottonseed cake + 200 g dried cassava peelings; and R2 (800 g *Panicum maximum* c1 hay + 100 g cottonseed cake + 200 g mango leaves. After a 15-day adaptation period, the sheep were fattened for 10 weeks to assess intake and growth parameters. For in vivo digestibility of diets, four sheep from each of the previously constituted batches of animals were randomly selected. Data on intake, growth, and digestibility were analyzed by analysis of variance (ANOVA) using the GLM procedure in SPSS 23.0 statistical software. The significance test (Newman-Keuls) was used to determine the differences between the induced effects of different rations on the measured parameters. As a result, the average daily intake of dry matter by sheep varied ($p \leq 0.05$) according to the rations consumed. The R0 diet (937.6 g DM/d/animal) was the most consumed, and the R2 ration (833.6 g DM/d/animal) was the least consumed, but the R2 ration had the highest consumption index (CI). Average Daily Gains were 63, 72, and 69 g/d, respectively, for animals fed with R0, R1, and R2. Apparent DM digestibility (74%) was similar for all rations ($p \geq 0.05$). According to these results, the partial substitution of cottonseed cake by cassava peelings or mango leaves is therefore possible, allowing for good animal and environmental performances in Djallonké sheep. This study can be used to disseminate information to small ruminant farmers, aiming to improve animal productivity, particularly meat supply.

Key words: Benin, Djallonké sheep, feed supplements, consumption index

Introduction

In Benin, the prevalence of undernourishment affects 7.4% of the population (F A O, 2024). Increasing animal production in response to growing population demand is, therefore, a national priority (MAEP, 2017), and it contributes to achieving the second axis of the Sustainable Development Goals (SDGs), which aims to eradicate food insecurity. The promotion of breeding animals with short reproductive cycles, fairly prolific and hardy, such as small ruminants, is retained in public policies to achieve these ends (MAEP, 2017). Small ruminants, particularly sheep, play a crucial role in enhancing national livestock production levels and promoting household empowerment (Mensah et al., 2022). Unfortunately, livestock farming is not highly productive due to several concerns, including feed constraints related to farmers' inability to formulate and serve balanced rations that meet animal needs throughout the year (Montcho et al., 2016; Daouda et al., 2019). The decline in the productivity and quality of natural pasture resources, which constitute the staple diet of ruminants, is more intense during the dry season (Oumorou et al., 2010; Boni et al., 2019), a particularly striking fact. The depreciation of the nutritional value of fodder is also at the origin of highly methanogenic rations (Assouma, 2016; Idrissou et al., 2019; Blanfort et al., 2022). So, the interest in improving the rations consumed by small ruminants then becomes obvious (Doreau et al., 2017). Indeed, farmers use several agricultural and agro-industrial by-products to complement forage resources (Montcho et al., 2016; Ahounou et al., 2018; Tensaba et al., 2023). Often, small ruminant farmers use their empirical knowledge of the various feed resources available to them to propose rations for their animals (Agbokounou et al., 2016; Kiki et al., 2018). The technical feasibility of rationing by small ruminant farmers is thus hindered by the lack of information related to the nutritional feed values, feed preferences, and optimal thresholds of incorporating feed ingredients (Montcho et al., 2018). The use of feed resources that optimize economic gain by lowering production costs in small ruminant farms with a low environmental impact is becoming a preferred solution. The feed resources studied in this study, namely *Panicum maximum* c1, *M. indica* leaves, dry *M. esculenta* peelings, and cottonseed cake (*Gossypium hirsutum* spp), are well-known and used by small ruminant farmers in various agro-ecological zones of Benin. Their availability and accessibility are relatively good, except for cottonseed cake, which is in greater demand than groundnut and palm kernel cake, and for which the transfer price is relatively high for farmers (Montcho et al., 2016). This study aims to propose feed formulas that allow for reducing production costs and improving small ruminant productivity. Substituting cottonseed cake in the ration of small ruminants with adequate proportions of other feed resources of good nutritional potential, and with low or no market value, such as dry *M. esculenta* peelings and *M. indica* leaves, will make it possible to achieve this goal. This study contributes to the improvement of feeding practices in sheep farms and

the rational management of feeding resources, with the goal of enhancing farm productivity and increasing farmer income.

Material and methods

Experimental site

This work was carried out from September 2022 to January 2023, at the experimental farm of the Faculty of Agricultural Sciences (FSA) of the University of Abomey-Calavi (UAC), located in the Atlantic department (6°37'0" North and 2°13'0" East ') at Sekou in the Republic of Benin (figure 35). The area is characterized by a Guinean climate with two dry seasons (mid-November to mid-March and mid-July to mid-October) and two rainy seasons (mid-March to mid-July and mid-October to mid-November). (Azonkpin et al., 2019; Adjatin et al., 2023).

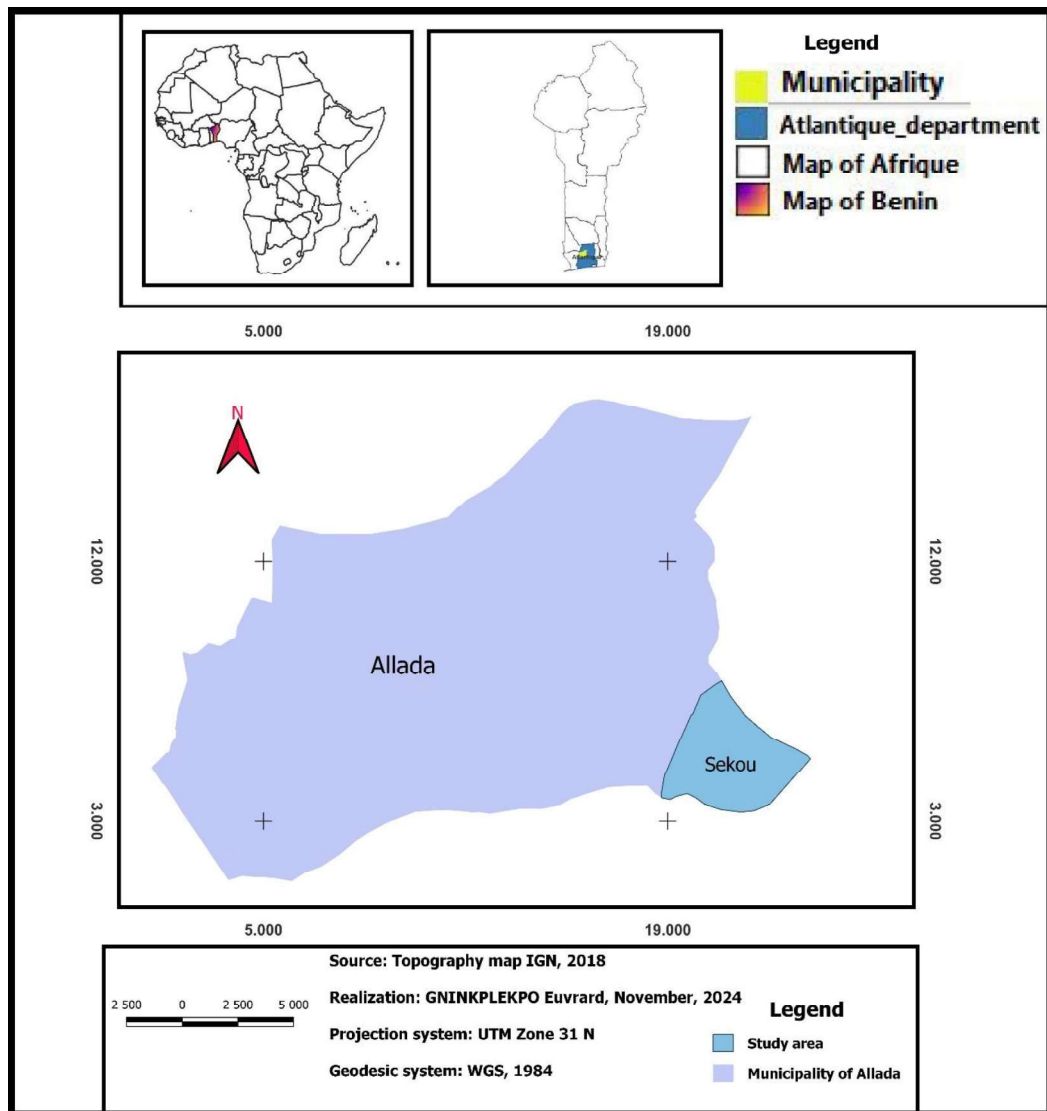


Figure 35: Map of experimental area.

Animal material and experimental design

Eighteen Djallonké sheep were divided into three batches of six (6) animals each, with respective average weights of $12.82 \text{ kg} \pm 3.78$, $12.67 \text{ kg} \pm 2.21$, and $12.60 \text{ kg} \pm 3.86$. The experimental design was a completely randomized block design with three treatments (rations), including a control, and six replicates (animals) per treatment, with one animal as the replicate. Animals were housed in a sheepfold, with pens measuring 3.3 m^2 per batch of animals, located next to each other in a closed dwelling, sufficiently ventilated and lit by

daylight, on cemented floors covered with wood shavings used as bedding. The treatments (rations) consisted of a partial substitution (up to 50 %) of cottonseed cake by dried *M. esculenta* peelings (ration 1) or *M. indica* leaves (ration 2), compared with the control ration (ration 0). The animals were used to evaluate intake and growth parameters, including dry matter intake, feed consumption rate, and weight gain. For the study of *in vivo* digestibility, four sheep were randomly selected from each of the three previously constituted batches of animals and housed individually.

Composition of the experimental rations

The experimental rations were formulated using equations developed by the Institut National de Recherche Agronomique (INRA). It is based on the animal's dietary requirements (determined by animal species (sheep, goats) and live weight), and production targets (ADG of 50g/day) on the one hand, and the nutritional and dietary values of the feed resources selected to form part of the rations on the other hand. The three rations were formulated isoenergetic and isoproteic (Table 28).

Table 28: Rations tested and their characteristics.

Rations	Sheep		
	Control (R0)	Cassava peelings (R1)	<i>M.indica</i> leaves (R2)
<u>Feed resources (g)</u>			
<i>Panicum maximum</i> C1 hay	1000	850	800
Cottonseed cake	200	100	100
Dried <i>M. esculenta</i> peelings	-	200	-
<i>M.indica</i> leaves	-	-	200
<u>Composition</u>			
DM (%)	90.80	91.20	91.80
Energy (UF/DM)	0.66	0.68	0.65
CP (%/DM)	8.30	7.60	7.80
FAT (%/DM)	2.30	2.70	2.90
NDF (%/DM)	77.20	74.60	73.50
ADF (%/DM)	47.00	47.10	44.90
ADL (%DM)	6.65	6.85	7.60

Dry matter (DM), Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), Acid Detergent Lignin (ADL), Total Fat (FAT), UF: Forage Unit

Data collection

Feed parameters and growth performance

The trial lasted 12 weeks, including a 15-day adaptation period. The rations were fed to the animals at 8 a.m. and 4 p.m. Every morning, feed refusals were quantified and a sample taken before the first feed service of the day. Samples of each ration served were taken throughout the study for subsequent laboratory analysis. Animals were weighed weekly. Water and lick stones were made available to the animals throughout the trial period on an *ad libitum* basis.

In vivo digestibility of rations

After collecting feed parameters and growth data, four animals (replicates) per treatment were assigned to individual metabolic digestibility cages. Adaptation to the cages lasted 7 days, and data collection was carried out over 10 days. Rations were served twice daily (at 8 a.m. and 4 p.m.). Every morning, feed refusals were quantified and a sample taken before the first feed service of the day. After weighing feces, individual samples were taken daily and placed in labelled plastic bags for chemical analysis. Water and a lick of stone were available to the animals on an *ad libitum* level throughout the study period.

Determination of the chemical composition

Samples of feed ingredients, rations, and faeces were oven-dried at 60°C for 72 hours to a constant weight to determine their dry matter (DM, AOAC 967.03) content. The dry feed samples were then ground with 0.75 mm mesh (Cyclotec from Tecator), then packed (200g) in small plastic containers, to determine their chemical compositions (dry matter (DM), Total ash (CT), crude protein (PB), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), Total Fatty Acid (FAT)), with the NIR Pro 1700 portable spectrometer.

Calculated parameters

Average feed intake was calculated as the difference between the quantities of feed distributed and those refused, throughout the experiment (d).

$$\text{Intake (g/day)} = (\text{Quantity distributed} - \text{Quantity refused}) / \text{Duration}$$

The average daily gain (ADG) was calculated as the difference between the final live weight and the initial live weight throughout the experiment.

$$\text{ADG (g/d)} = \text{final weight} - \text{initial weight} / \text{Duration}$$

The Feed Conversion ratio (FCR) is given by the ratio between the quantities of feed consumed during a given period to produce one unit of body mass.

$$\text{FCR} = \text{Amount of feed consumed during a period (g)} / \text{Weight gain during the same period (g)}$$

Apparent digestibility (Ad) was determined by the formula:

$$Ad = (\text{Quantity ingested} - \text{quantity excreted in faeces}) / \text{Quantity ingested} * 100$$

Data analysis

A normality test was first performed to assess the normality of the quantitative data. Data on feed parameters, growth performance, and digestibility emissions were analyzed using the GLM procedure in SPSS 23.0 statistical software, and the effects were evaluated according to an analysis of variance. The Newman-Keuls test was used to determine differences between the groups for the measured parameters.

Results

Average daily intake of rations

The data on dry matter and nutrient intake are reported in Table 29.

Table 29: Diets and nutrient intakes by sheep groups (n=6), fed with a control diet (R0) or either diets containing *M. esculenta* peelings (R1) or *M.indica* leaves (R2)

Intake	Control (R0)	Cassava peelings (R1)	<i>M.indica</i> leaves (R2)	SEM	P-value
<u>Feed resources (gDM/d)</u>					
<i>Panicum maximum</i> C1 hay	4525.69a±326.45	3831.40b±429.12	2824.28c±486.23	55.84	0.001
Cottonseed cake	1099.38a±79.73	547.25b±56.18	462.33c±37.76	19.82	0.001
Cassava peelings	-	1012.49a±57.63	-	32.85	-
<i>M.indica</i> leaves	-	-	881.54±26.39	3.13	-
<u>Composition (g/d)</u>					
DM	5625.07a±37.31	5391.13 b±47.79	4168.16c±56.95	67.92	0.001
CP	656.58a±16.3	515.17b±4.17	544.67c±9.13	9.4	0.02
FAT	129.38a±0.86	123.99b±1.01	95.87c±1.52	12.24	0.04
NDF	4191.47a±20.11	3898.46b±6.40	3564.56c±2.22	23.75	0.03
ADF	2155.65a±15.80	1963.12b± 22.60	1854.70c±13.50	6.36	0.02
ADL	328.60b±2.90	353.61a±21.41	333.59a±3.80	18.64	0.02

^{a, b} and ^c in the same row: averages with different letters are significantly different at the 5% level; SEM: standard error of mean; Dry matter (DM), Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), Acid Detergent Lignin (ADL).

Average daily dry matter intake by sheep varied among rations ($P < 0.001$). The R0 diet (937.6 g DM/d/animal) was the most consumed, as opposed to the R2 diet (833.6 g DM/d/animal). NDF, ADF, and ADL intake levels were significantly lower for sheep fed the R2 ration (594.1 g DM/d/animal; 309.1 g DM/d/animal; 55.6 g DM/d/animal), compared with sheep fed R0 (698.6 g DM/d/animal; 359.3 g DM/d/animal; 54.8 g DM/d/animal), and R1 ration (649.7 g DM/d/animal; 327.2 g DM/d/animal; 58.9 g DM/d/animal).

Intake and growth performance

There was a highly significant difference in the feed conversion ratio (FCR) values, but no significant difference in average weight gain, between the different rations tested (Table 30). Nevertheless, the R2 diet had the best feed conversion ratio at 13.4.

Table 30: Average daily gain, feed consumption index, and feed conversion rate, in sheep fed with a control diet (R0) or either diets containing *M. esculenta* peelings (R1) or *M.indica* leaves (R2)

Parameters	Control (R0)	Cassava peelings (R1)	<i>M.indica</i> leaves (R2)	P-value
Initial weight (Kg)	12.82±3.78	12.67±2.21	12.60±3.02	0.984
Final weight (Kg)	17.27 ±4.40	17.75± 3.45	17.50±3.45	0.976
Average daily gain (g/animal/d)	63.57±0.01	72.62±0.02	69.70±0.01	0.575
Feed intake (kg/group/d)	6.19 ^a ±0.35	5.98 ^b ±0.45	5.54 ^c ±0.66	0.001
Feed Conversion Ratio	16.46	13.93	13.38	-

a, b, c in the same row means marked with different letters are significantly different at the 5% level.

The highest ADGs were observed in animals fed the R1 (72 g/d), followed by R2 (69 g/d).

Feed intake varied significantly ($P \leq 0.01$) across animal batches. Animals fed with the ration R0 had higher values, whereas the ration R2 was the least consumed.

The addition of dried cassava (*M. esculenta*) peelings and mango (*M. indica*) leaves to the rations had a positive effect on sheep growth performance. Figure 36 shows the rate of growth of the sheep over the weeks of the study.

The sheep the most valued the R2 diet due to its lowest feed conversion ratio.

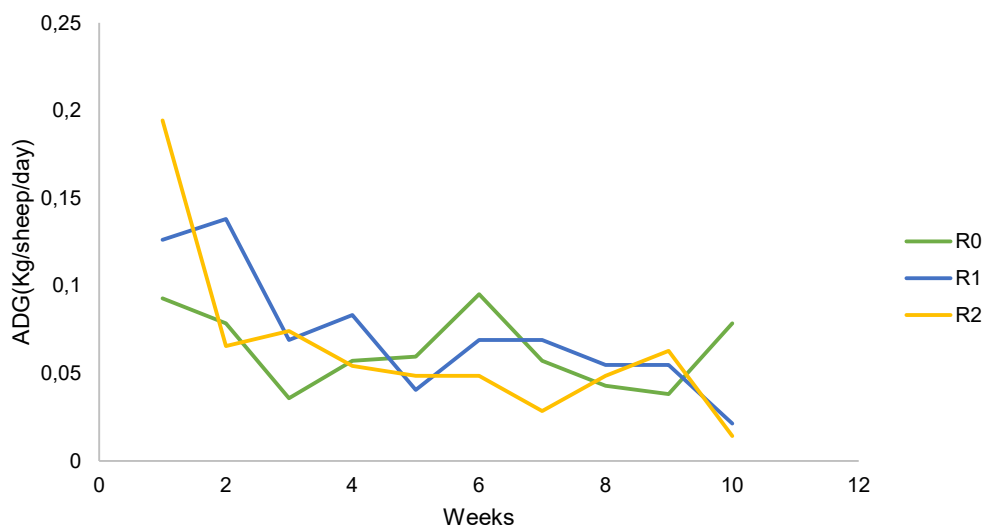


Figure 36: Evolution of ADG in sheep fed with a control diet (R0) or either diets containing *M. esculenta* peelings (R1) or *M. indica* leaves (R2) during study weeks.

Regardless of the rations fed, this graph shows no variation in sheep average daily gain (ADG) following the weeks of experimentation, independently of the rations considered. The diets have shown various performances on sheep over the week, but with nearly similar total weight gain.

Assessment of *in vivo* digestibility of rations tested by sheep

Table 31 shows daily voluntary intake and dry matter digestibility by sheep following the rations tested. The results showed that the voluntary intake of rations did not vary across the different batch rations ($P \geq 0.05$). The average gross voluntary intake independently of the diet was 842.1g DM/animal/ day. All rations tested were digestible on average at 74.5%, with no significant difference between them.

Table 31: Voluntary intake of dry matter, and digestibility of dry matter by sheep according to a control diet (R0) or either diets containing *M. esculenta* peelings (R1) or *M. Indica* leaves (R2)

	Control (R0)	Cassava peelings (R1)	<i>M. indica</i> leaves (R2)	SEM	P value
Intake (gDM)	833.72±127.40	840.54±118.74	851.30±95.53		P=0.774
Refused feed (gDM)	230.66 ^a ±49.70	197.28 ^b ±53.09	217.06 ^{ab} ±60.10		0.001
Apparent digestibilité (%)	72.40±0.09	76.54±0.08	74.53±0.09		0.426

a, b, c: means with a common letter are not significantly different at the 5% level.

Discussion

For all three diets, the DM intake was observed to be significantly different ($p \leq 0.05$) among them. The lower DM intake of the R0 ration could be linked to her slightly higher content in parietal fibers (NDF, ADF) compared with the other rations. In a similar study, Dimon et al. (2020) found daily intake values below the present results for fattening sheep fed *Panicum maximum* c1 hay and a concentrate containing bran (maize, soybean), cottonseed cake, and *Moringa oleifera* meal. Earlier, the results of Smeti et al. (2012) had shown the same trend as those of the previous authors. Additionally, Kouakou et al. (2024) found that sheep fed exclusively with *Andropogon gayanus* leaves had the lowest feed intake compared to those supplemented with maize bran or cassava peelings. As reported in other studies, the high DM content of a ration can improve its intake (Youssoufou et al., 2021; Offoumon et al., 2022). However, sheep DM intake is also inversely proportional to its fiber content (Nantoumé et al., 2018). Weight performance results obtained with the different rations revealed that the addition of dried cassava (*M. esculenta*) peelings or mango (*M. indica*) leaves had a positive effect on animal growth, since the weight gains of sheep fed with these supplements were higher (ADG R0 < ADG R2 < ADG R1). Energy availability, linked to the presence of dried *M. esculenta* peelings in the R1 ration, could justify this result. This result is in line with the observations of (Ehouinsou et al., 2007; Montcho et al., 2017; Kouakou et al., 2024) who have shown that dried cassava peelings used in sheep rations resulted in ADGs ranging from 19 to 61g/day, below the results of this study (63 to 72g/day). However, the daily weight gain value obtained in this study was lower than that found (109 g/d) by Nantoumé et al. (in a fattening trial of Djallonké sheep based on a ration of cottonseed cake and groundnut haulms. The difference in rations tested could justify this, as these authors have combined two feed resources with a high concentration of nitrogenous matter. On another level, Dione et al. (2020) and Koura et al. (2021) conducted research that revealed the potential of some woody leaves on the growth of small ruminants. Nantoumé et al. (2018), associating various woody leaves (*Pterocarpus*

lucens, *Pterocarpus erinaceus*, and *Ficus gnaphalocarpa*) with cottonseed cake in different proportions for feeding Djallonke rams, noted much higher daily weight gains (81 to 115 g/d) than in the present study with the mango leaf ration (69 g/d). However, the growth results for sheep in this study were almost identical to those obtained in 2020 by Idrissou et al. (60 to 71 g/d), which compared the effects of cottonseed and the leaves of *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium*. The introduction of *M. indica* leaves into the ration of growing sheep produced satisfactory results, confirming the value of this plant. The diet R2 showed the best feed conversion ratio ($R2 < R1 < R0$). This could be explained by the presence in these rations of feed constituents that are easily assimilated by the sheep organism to meet its dietary requirements. Despite no difference in ADG across the diets, the presence of *M. indica* leaves in the R2 ration gives it a slight advantage in protein and mineral resources, notably in Ca and Na, according to Gninkplékpo et al. (2024). Protein is essential for building muscle tissue, while the structuring role played by minerals in metabolic and physiological processes could explain the performance of animals fed the R2 ration. Previous works (Dione et al., 2020; Soumana et al., 2024) in the same direction, have reported that woody forages are nutritionally suitable to cover the needs of ruminants, and the results of this study on the incorporation of *M. indica* leaves into the ration reinforces this assertion by previous authors.

There was no significant difference between the DM digestibility values of the different rations. Blama *et al.* (2018) reported that combining cottonseed cake with a degradable energy source increased the efficiency of supplementation. The nutrient composition (protein, fiber, and energy content) of the ration ingredients used directly influences the digestibility of the diets (Montcho et al., 2017; Youssoufou et al., 2021). The similar energy contents of the rations could justify this result, and further show that cottonseed cake can be partially substituted in sheep diets by dried cassava (*M. esculenta*) peelings or mango (*M. indica*) leaves without major changes in nutrient digestibility. The ADG values observed could be due to the nutritional quality of the feed ingredients, the rearing conditions, and the animals. Dried *M. esculenta* peelings and cottonseed cake were purchased directly from local trade, from different sources. *M. indica* leaves have also been harvested in various places. This fact could justify potential variations in the quality of these feed resources. Montcho et al. (2017) noted that despite their high protein content, which makes them a good complement for low-nutrition forages and fibrous co-products, the digestibility of cottonseed cake remains under the influence of its anti-nutritional factor (gossypol). In addition, cottonseed cake is one of the feed resources with a high market value, hampering the purchasing power of ruminant farmers (Montcho et al., 2016). These two constraints can be overcome by judicious use of resources such as tuber and root peelings, as well as leaves from *M. esculenta* and *M. indica*. In short, the results obtained from this study suggest that dried *M. esculenta* peelings and *M. indica* leaves can

serve as valuable feeding resources in small ruminant farming, enabling the achievement of good zootechnical productivity. This is part of an efficient small ruminants feeding plan to improve the economic yield of the activity.

Conclusion

The search for a sustainable feeding practice, adapted to the animals' dietary needs, less restrictive in terms of availability and accessibility, and enabling the increase in income of small ruminant farmers, was the primary concern of this study. Replacing partially cottonseed cake with dried *M. esculenta* peelings or *M. indica* leaves did not affect the digestibility of the rations. Based on their feed conversion ratio, the R2 ration containing *M. indica* leaves gave the best zootechnical performance, while the control ration was the least effective in terms of performance. This study suggests that further work should be undertaken with farmers to transfer scientific knowledge to rural areas. To this end, training and/or demonstration sessions (school-field) could be relevant dissemination methods. Providing small ruminant farmers with key technical information on feed and encouraging them to adopt these recommendations could first increase their income, secondly strengthen their resilience to the effects of climate change, and thirdly contribute to the sustainable preservation and restoration of environmental resources.

Section expérimentale

Etude 5 :

Effet des épluchures séchées de *Manihot esculenta* ou des feuilles de *Mangifera indica* dans la ration sur l'ingestion, la croissance, et l'émission de CH₄ chez les caprins Djallonké

Chapitre 7, étude 5 : Effet des épluchures séchées *M. esculenta* ou des feuilles de *M. indica* dans la ration sur l'ingestion, la croissance, et l'émission de CH₄ chez les caprins Djallonké

Résumé opérationnel

Cette étude s'inscrit dans la continuité des travaux du précédent chapitre et vise à évaluer les paramètres alimentaires ainsi que les émissions de CH₄ chez les caprins Djallonké, nourris avec des rations formulées à partir des ressources localement disponibles et accessibles (les mêmes que précédemment) aux éleveurs. Ceci permet de disposer d'une base comparative d'analyse des performances globales des rations sur la race de petits ruminants Djallonké. Une telle approche, est essentielle à l'élaboration de recommandations générales et spécifiques et adaptées aux éleveurs en fonction de l'espèce concernée. Ces recommandations vont soutenir durablement le sous-secteur de la production de petits ruminants, en améliorant à la fois la productivité animale, le revenu de l'éleveur, et la durabilité environnementale des pratiques d'élevage.

Section expérimentale

Etude 5:

Effet des épluchures séchées *Manihot esculenta* ou des feuilles de *Mangifera indica* dans la ration sur l'ingestion, la croissance, et l'émission de CH₄ chez les caprins Djallonké

A soumettre

Résumé

Face aux enjeux actuels de disponibilité et d'accès aux ressources d'alimentation, l'optimisation de l'utilisation desdites ressources pour réduire les coûts de production et améliorer les performances productives et environnementales des élevages de petits ruminants est cruciale. Cette étude a évalué les performances alimentaires, zootechniques et environnementales des caprins Djallonké nourris avec trois rations constituées de ressources locales : R0 : *Panicum maximum* (1000 g) + Tourteau de coton (200 g); R1 : *Panicum maximum* (1000 g) + Épluchures sèches de manioc (200 g) + Tourteau de coton (100 g); et R2 : *Panicum maximum* (1000 g) + Feuilles de manguier (200 g) + Tourteau de coton (100 g).

Dix-huit chevreaux répartis en trois lots homogènes de poids similaires ont été suivis pour mesurer l'ingestion, le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC). Quatre animaux par lot mis en cages métaboliques ont ensuite été utilisés pour évaluer la digestibilité et les émissions de CH₄. Les données recueillies ont été analysées par ANOVA (procédure GLM, SPSS 23.0) et les moyennes comparées par le test de Newman-Keuls.

Les résultats ont montré des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre rations pour l'ingestion de MS, le GMQ, et les émissions de CH₄. Les R2 et R0 ont enregistré respectivement les valeurs les plus élevée et faible (471 g/j et 415 g/j, respectivement) pour l'ingestion de la MS. Les rations R2 (37,71 g/j) et R1 (28,57 g/j) ont montré les meilleures performances pour le GMQ. Aucun effet significatif ($p \geq 0,05$) n'a été observé entre les rations (environ 60 %) pour la digestibilité de la MS, alors que la ration R2 a induit les niveaux les plus élevés de CH₄ par jour et par animal ($p \leq 0,05$).

Ces résultats orientent vers une gestion efficace des ressources locales d'alimentation pour améliorer la productivité des élevages de petits ruminants Djallonké, en réduisant les coûts de production et les impacts environnementaux. Leur vulgarisation auprès des éleveurs pourrait contribuer à une adoption accrue et à une amélioration durable des élevages de petits ruminants.

Mots-clés : caprins Djallonké, ingestion, gain moyen quotidien, méthane, coût de production

Introduction

Le changement climatique a profondément affecté la sécurité alimentaire et la survie des éleveurs, notamment ceux qui élèvent des petits ruminants, une composante essentielle des activités rurales en Afrique subsaharienne (Dossa et al., 2008; Chukwuka et al., 2010; Kimaro et al., 2017; Agossou et al., 2017). Parmi ces petits ruminants, les caprins de race Djallonké se distinguent par leur rusticité, leur faible exigence en matière d'élevage, et leur adaptabilité aux conditions de vie des ménages pauvres. Ils jouent un rôle clé aux niveaux économique, alimentaire, culturel et culturel dans de nombreuses communautés (Dossa et al., 2008; Ejlersen et al., 2012; Missohou et al., 2016). Au Bénin, comme dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest, l'élevage caprin repose essentiellement sur des pratiques traditionnelles exploitant les ressources des pâturages naturels. Ces pratiques sont caractérisées par une faible productivité, dont l'amélioration nécessite notamment une meilleure maîtrise de l'alimentation animale (Dossa et al., 2008; Agossou et al., 2017; Houessou et al., 2021). Cependant, les ressources fourragères subissent une dégradation accélérée, accentuée par le surpâturage et une gestion non durable, menaçant à la fois la biodiversité végétale et la viabilité des systèmes d'élevage (Sitou et al., 2020; Gado et al., 2020; Adedigba et al., 2023; Ali et al., 2024).

Les ressources fourragères disponibles, sont souvent complétées par des apports en feuilles de ligneux, résidus de récolte, et sous-produits agroindustriels (Dahouda et al., 2019; Kouato et al., 2021; Edo et al., 2023). Ces compléments, en particulier les feuilles de ligneux en saison sèche, jouent un rôle crucial en améliorant la qualité nutritionnelle des rations (Montcho et al., 2016; Koura et al., 2016; Koura et al., 2021) et en réduisant la production de CH₄ entérique grâce à leur teneur en métabolites secondaires, tels que les tanins et les saponines (Min et al., 2020; Hristov et al., 2022; Giamouri et al., 2023).

L'accès aux sous-produits agroindustriels et aux résidus de récolte est limité par des contraintes économiques et/ou logistiques. Par exemple, les coûts élevés des tourteaux (de coton, d'arachide) ou des fanes de niébé restreignent leur adoption par les éleveurs (Montcho et al., 2016). Ces limitations rendent nécessaire l'exploration de ressources alimentaires alternatives, à faible coût ou sans valeur marchande, pour réduire la dépendance des élevages caprins aux intrants onéreux tout en améliorant leur productivité.

Le développement de modèles d'alimentation intégrant efficacement les ressources locales constitue ainsi un enjeu majeur pour améliorer les performances zootechniques du caprin tout en réduisant leur empreinte environnementale. Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer l'effet de la substitution partielle du tourteau de coton dans les rations caprines par

des feuilles de manguier (*M. indica*) ou des épluchures séchées de manioc (*M. esculenta*). L'objectif est de déterminer l'impact de ces substitutions sur : i) les performances zootechniques des caprins Djallonké (paramètres de croissance et de digestibilité des rations); ii) les émissions de CH₄ entérique, un indicateur clé de l'efficacité environnementale des rations. Cette étude entend renforcer durablement la résilience des élevages caprins face aux contraintes climatiques et économiques, tout en préservant l'environnement.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

L'étude a été réalisée de Septembre 2023 à Janvier 2024, à la ferme d'application de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) de l'Université d'Abomey-Calavi, située dans le département de l'Atlantique, commune d'Allada, arrondissement de Sékou (6°37'0" latitude Nord et 2°13'0" longitude Est) (voir figure 35, chapitre 6, étude 5). Cette région est caractérisée par un climat subéquatorial présentant une alternance de quatre saisons : deux saisons pluvieuses (de mars à juin et de septembre à novembre) et deux saisons sèches (de juillet à septembre et de novembre à mars). La pluviométrie annuelle moyenne oscille entre 800 et 1000 mm. La température moyenne annuelle varie en fonction des mois, avec des maxima compris entre 34°C et 38°C et des minimas oscillant entre 29°C et 31°C (Azonkpin et al., 2019 ; Adjatin et al., 2023).

Matériel animal, logement, et protection sanitaire des animaux

Dix-huit caprins Djallonké, d'un poids moyen de $6,7 \pm 0,5$ kg, ont été acquis auprès d'éleveurs locaux situés dans un rayon de 0 à 30 km autour du site expérimental. Avant leur arrivée, des mesures rigoureuses de biosécurité comprenant le nettoyage et la désinfection des bâtiments d'expérimentation et des équipements (abreuvoirs et les mangeoires) en utilisant du Virunet® (fongicide). Une fois arrivés sur le site, les caprins ont été placés en quarantaine pendant une période de dix jours, puis ont été vaccinés contre la Peste des Petits Ruminants (PPR). Les parasites internes ont été contrôlés par l'administration mensuelle d'Albenol (principe actif : albendazole, fabricant : Interchemie) à raison de 1 ml par animal. Les parasites externes, tels que les tiques et les puces, ont été éliminés par pulvérisation régulière d'un acaricide-insecticide (Cypertop®, principe actif : Cyperméthrine, fabricant : Laprovet). En cas de maladie infectieuse, un traitement antibiotique basé sur l'Oxytétracycline® (Vetoquinol, fabricant : Advacare Pharma) a été appliqué : une injection intramusculaire de 3 ml d'Oxytétracycline® 10

% par 10 kg de poids vif a été administrée le premier jour, suivie de deux jours de traitement avec l'Oxytétracycline® 20 % à la même dose. Ce traitement a été accompagné d'une injection intramusculaire de vitamine AD3 (Vitol, fabricant : Interchemie)®, à raison de 3 ml par 10 kg de poids vif, pour renforcer l'immunité des animaux.

Les loges expérimentales (3 au total), identiques en structure, mesuraient chacune 3,0 m de longueur et 1,10 m de largeur. Elles étaient situées côte à côte sur un sol cimenté, recouvert de copeaux de bois servant de litière. Cette litière était renouvelée tous les quinze jours afin de maintenir un niveau optimal d'hygiène et de confort pour les animaux.

Dispositif expérimental et rations testées

Les 18 chevreaux Djallonké ont été répartis en trois lots homogènes de 6 animaux chacun, avec des poids moyens respectifs de $6,5 \pm 0,6$ kg, $6,9 \pm 0,4$ kg et $6,6 \pm 0,8$ kg. Le dispositif expérimental adopté était un bloc complètement aléatoire comprenant trois traitements (rations) et six répétitions par traitement, chaque animal étant considéré comme une unité expérimentale distincte. Les trois traitements consistaient en une substitution partielle du tourteau de coton (50 % de la quantité incluse dans la ration témoin R0) par d'autres ressources alimentaires que sont les épiluchures séchées de manioc (*M. esculenta*) pour la ration R1, et les feuilles de manguier (*M. indica*) pour la ration R2.

Les rations ont été formulées en s'appuyant sur les tables de formulation de ration de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA). Les besoins nutritifs des animaux ont été déterminés en tenant compte de l'espèce animale, du poids vif des chevreaux, et de l'objectif de production fixé. Les trois rations élaborées étaient ainsi iso-énergétiques et iso-protéiques, garantissant une comparabilité des résultats entre les différents traitements. Les détails de ces rations sont présentés dans le tableau 32.

Tableau 32 : Valeurs bromatologiques des rations testées

Ration	Témoin (R0)	Chevreaux	
		Épluchures sèches de Manioc (R1)	Feuilles de <i>M. indica</i> (R2)
<u>Ingrédients (g)</u>			
<i>Panicum maximum</i> C1 frais	1000	1000	1000
Tourteau de coton	200	100	100
Épluchures séchées de manioc	-	200	-
Feuilles de manguiier	-	-	200
<u>Composition</u>			
MS (%)	65,60	66,30	66,90
Energie (UF/MS)	0,43	0,46	0,45
PB (%/MS)	5,70	5,20	5,50
MG (%/MS)	2,90	2,70	1,90
NDF (%/MS)	70,20	72,20	71,90
ADF (%/MS)	42,90	43,40	43,90
ADL (%MS)	6,15	6,75	4,70

MS : Matière Sèche, UF : Unité Fourragère, PB : Protéine Brute, ADF : Fibres insolubles dans le détergent acide, NDF : Fibres insolubles dans le détergent neutre, MG : Matières Grasses, ADL : Lignine insoluble dans le détergent acide

Collecte des données

Paramètres alimentaires et de croissance pondérale

L'essai portant sur l'ingestion alimentaire et la croissance pondérale des chevreaux Djallonké s'est déroulé sur une période de 15 semaines, avec une phase d'adaptation de 3 semaines des animaux aux conditions expérimentales. Les rations ont été distribuées quotidiennement en deux temps, à 8 h et à 16 h. Chaque matin, avant le premier service, les quantités d'aliments offertes ainsi que les refus de la veille ont été pesés. Ces données ont permis de calculer des paramètres alimentaires tels que l'ingestion moyenne journalière (IMJ) et l'indice de consommation (IC). Des échantillons représentatifs de chaque ration ont été prélevés régulièrement pour des analyses ultérieures en laboratoire, pour la détermination des caractéristiques nutritionnelles des rations. Les animaux ont été pesés de manière hebdomadaire tout au long de l'essai. Ces pesées ont permis de calculer les gains de poids (GP) ainsi que les gains moyens quotidiens (GMQ), des indicateurs de performance zootechnique. L'eau et la pierre à lécher ont été mises à disposition *ad libitum* pendant toute la durée de l'étude.

Digestibilité des rations expérimentales

Après la collecte des données sur les paramètres alimentaires et de croissance, une étude de la digestibilité des rations a eu lieu pendant 15 jours, dont 5 jours d'adaptation des animaux aux cages individuelles de digestibilité. Quatre animaux ont été sélectionnés de manière aléatoire parmi ceux des lots expérimentaux précédemment constitués, soit un total de 4 répétitions par ration, avec chaque animal considéré comme une répétition.

Les rations utilisées lors de l'essai précédent ont été maintenues pour cet essai. Elles ont été distribuées individuellement aux animaux, en deux temps journaliers (8 h et 16 h). Chaque matin, avant le premier service, les quantités d'aliments à servir et les refus alimentaires de la veille ont été pesés. Des échantillons représentatifs de ces aliments ont été prélevés pour analyses ultérieures de laboratoire. De plus, les fèces produites par chaque animal ont été collectées quotidiennement après pesée. Des échantillons représentatifs ont été prélevés, placés dans des sachets en plastique étiquetés, et conservés pour des analyses chimiques détaillées visant à évaluer les paramètres de digestibilité. Tout au long de cette période expérimentale, l'eau et des pierres à lécher ont été mises à disposition des animaux en libre accès (*ad libitum*).

Évaluation du CH₄ entérique

Cette étude a duré 10 jours (dont 3 jours d'adaptation au dispositif de collecte de gaz) et a porté sur 12 animaux. Les animaux ont été maintenus dans les mêmes cages et dans le même bâtiment expérimental que dans la précédente étude mais ces cages étaient espacées entre-elles de 1 mètre pour réduire les interférences éventuelles entre les émissions provenant de chaque animal. Le dispositif technique était composé d'analyseurs de gaz Guardian, d'un enregistreur de données Data Taker DT80, de tuyaux en téflon pour la canalisation du gaz jusqu'à l'analyseur, et des lunettes d'oxygénation. Une heure après le service de la ration (en matinée et dans l'après-midi), le dispositif de collecte était monté sur chaque animal expérimental pendant 10 minutes respectivement à deux périodes de la journée (matinée entre 8 h et 12 h et l'après-midi entre 15 h et 19 h) et quatre temps de mesure étaient considérés (T0, T3, T6 et T9) pendant chacune de ces périodes de mesure. Cette méthode était inspirée des travaux d'évaluation de GES par Phillippe et al., (2015) sur les porcs et Lessire et al., (2016) sur les bovins avec des différences au niveau de la structure des bâtiments expérimentaux et des prises de mesures de CH₄. La démarche est également proche de celle employée par Chelpeo et al., (2024), qui ont mesuré la production de CH₄ chez les agneaux à l'aide d'un détecteur de gaz intelligent portable, en pointant le faisceau laser rouge vers une narine de l'agneau (IGD) (Tokyo Gas Engineering Co., Ltd. Anritsu Devices Co., Ltd., Tokyo, Japon) en

ppm/minute en s'inspirant des travaux de Zhao et al., (2020) et Sorg (2022). Bekele et al. (2025) ont utilisé un détecteur laser portable de CH_4 LMD (Crowcon Detection Instruments Ltd., Tokyo, Japon) pour mesurer le CH_4 chez les moutons, mais leur procédure méthodologique était similaire à celle de cette étude. Pour cette étude, le temps T0 correspond à la valeur mesurée à blanc du CH_4 dans l'environnement expérimental (lorsque les lunettes d'oxygénation n'étaient fixées sur aucun animal), alors que les autres temps de mesures (T3 à T9) représentent les émissions de CH_4 enregistrées chez l'animal à intervalle régulier de 3 minutes (soit à 3, 6, et 9 minutes). Deux analyseurs et deux Data Taker ont été simultanément utilisés pour éviter les biais liés aux équipements. Grâce à leur mécanisme d'aspiration d'air, les analyseurs Guardian aspirent au moyen des lunettes d'oxygénation installées aux narines de l'animal, les quantités (en pourcentage d'air expiré) de CH_4 rejeté par l'animal, et les transmet au Data taker (Figures 37 et 38) pour enregistrement. Un temps de latence de 5 minutes était respecté entre deux prises de mesures pour éviter les biais de valeurs entre les différents relevés entre les animaux. Chaque jour, un rang aléatoire était établi pour déterminer l'ordre de mesure de CH_4 chez les animaux. Par animal, 6 mesures (à raison de 3 mesures respectivement en matinée et dans l'après-midi) étaient prises par jour durant toute la période d'essai. Pour s'assurer de l'exactitude des données prises, les analyseurs de gaz étaient calibrés à un intervalle régulier de 3 jours en utilisant des bouteilles de gaz de CH_4 et de N_2 comme gaz de référence. Cette étape de calibration garantissait la standardisation et la fiabilité des mesures recueillies.



Figure 37 : Dispositif technique de mesure de CH_4 (© E. Gninkplékpo)



Figure 38 : Caprin portant les lunettes à oxygénation pour la mesure de CH_4 (© E. Gninkplékpo)

Paramètres calculés

L'ingestion alimentaire moyenne qui est la différence des quantités d'aliments distribuées et celles refusées divisées par le nombre de jours entre les deux mesures.

$$\text{Ingestion (g/j)} = \frac{\text{Quantité distribuée d'aliment (g)} - \text{Quantité refusée d'aliment (g)}}{\text{Durée(j)}}$$

Le gain moyen quotidien (GMQ) est calculé comme étant la différence de poids vif entre deux mesures successives divisé par le nombre de jours entre les deux mesures.

$$\text{GMQ (g/j)} = \frac{\text{poids final} - \text{poids initial}}{\text{Durée(j)}}$$

L'indice de consommation (IC) qui traduit l'efficacité de l'utilisation alimentaire, est donnée par le rapport entre la quantité d'aliments consommés pendant une période donnée pour produire une unité de masse corporelle (poids vif).

$$\text{IC} = \frac{\text{Quantité consommée d'aliment pendant une période(g)}}{\text{Gain de poids durant la même période(g)}}$$

La digestibilité apparente (*da*) a été évaluée en faisant le bilan entre les quantités de nutriments ingérés et celles excrétées. Elle a été déterminée par la formule :

$$da = \frac{\text{Quantité ingérée} - \text{Quantité excrétée dans les fèces}}{\text{Quantité ingérée}}$$

Détermination de la composition chimique des rations

En fin d'expérimentations, les différents prélèvements (rations, fèces) ont été portés à l'étuve à 60°C, pendant 72 h jusqu'à un poids constant, pour déterminer leurs teneurs en matière sèche (MS, AOAC 967.03). Les échantillons d'aliments secs ont été ensuite moulus avec une maille de 0,75 mm (Cyclotec de Tecator). Un échantillon (200g) de chaque ration, et de fèces ont été mis dans un petit contenant en plastique pour la détermination de leurs valeurs bromatologiques avec le spectromètre portable NIR Pro 1700.

Traitement statistique des données

Les données collectées ont été soumises aux tests de normalité et d'homogénéité de la variance. Une analyse de variance selon la procédure GLM du logiciel statistique SPSS 23.0 a été appliquée aux données relatives aux paramètres alimentaires, de croissance, de digestibilité, et d'émission de CH₄. La comparaison multiple des moyennes a été effectuée et

le test de significativité de Student-Newman-Keuls a servi pour déterminer les niveaux de différence entre les rations servies aux animaux pour les paramètres évalués au seuil de 5%.

Résultats

Paramètres alimentaires

L'ingestion alimentaire des différents nutriments a connu des variations significatives ($p \leq 0,05$) en fonction des rations testées (Tableau 33).

Tableau 33 : Ingestion moyenne journalière de chevreaux recevant une ration témoin (R0), ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2)

Espèce	Chevreaux				P-valeur
	Témoin (R0)	Épluchures sèches de Manioc (R1)	Feuilles de <i>M. indica</i> (R2)	SEM	
<u>Ingrédients (gMS/jour)</u>		Moyenne $\pm$ SEM			
<i>Panicum maximum</i>					
C1 frais	1398,26 $\pm$ 37,28	1336,31 $\pm$ 39,57	1460,10 $\pm$ 44,67	57,49	0,1
Tourteau de coton	1092,66 $\pm$ 5,31	520,63 $\pm$ 5,76	544,24 $\pm$ 4,14	7,24	0,001
Épluchures séchées de manioc		959,31 $\pm$ 18,25		7,45	
Feuilles de manguier			822,30 $\pm$ 5,34	2,18	
<u>Composition (g/jour)</u>					
MS	2490,91 $\pm$ 39,33	2816,25 $\pm$ 43,30	2826,64 $\pm$ 45,81	42,77	0,021
PB	211,24 $\pm$ 2,95	198,81 $\pm$ 3,06	175,21 $\pm$ 2,84	17,3	0,001
MG	73,24 $\pm$ 1,16	62,14 $\pm$ 1,15	44,69 $\pm$ 0,85	6,13	0,001
NDF	2157,13 $\pm$ 34,06	2037,52 $\pm$ 37,74	2111,14 $\pm$ 40,04	21,57	0,076
ADF	983,91 $\pm$ 15,54	885,57 $\pm$ 16,40	963,78 $\pm$ 18,28	9,69	0,001
ADL	153,19 $\pm$ 2,42	157,72 $\pm$ 2,92	113,53 $\pm$ 2,15	14,53	0,001

a, b et c dans la même ligne, les moyennes ne présentant pas de lettre commune sont significativement différentes au seuil de 5%; SEM : erreur standard de la moyenne; MS : Matière Sèche, PB : Protéines brutes, NDF : Fibres insolubles dans le détergent neutre; ADF : Fibres insolubles dans le détergent acide, ADL : Lignine insoluble dans le détergent acide

Avec des consommations moyennes de 471 et 415 g MS/jour par animal, les rations R2 (à égalité avec R1) et R0 se sont révélées respectivement être la plus et la moins ingérées. L'ingestion de PB a différé significativement ($p \leq 0,05$) entre les lots, avec un avantage marqué pour les caprins recevant la ration témoin (R0), contenant la plus grande proportion de tourteau de coton. Les tendances d'ingestion des constituants pariétaux, notamment les Fibres insolubles dans le détergent acide (ADF) et la lignine, ont suivi celles d'ingestion de la MS. Les valeurs d'ingestion de ADF se situaient entre 148 et 160 g/animal/jour, respectivement pour les animaux consommant les rations R0, R2, et R1. En revanche, une tendance opposée a été observée pour la Lignine insoluble dans le détergent acide (ADL), où les animaux recevant la ration R1 ont affiché la plus forte ingestion, tandis que ceux nourris avec la ration R2 ont présenté la plus faible.

Les performances de croissance associées à ces rations sont résumées dans le tableau 34. Les caprins nourris avec la ration R2 ont enregistré le gain moyen quotidien (GMQ) le plus élevé, atteignant 37,71 g/j, tandis que la valeur la plus basse a été observée chez les animaux ayant consommé la ration témoin (R0), avec un GMQ de 22,86 g/j. Ces résultats mettent en évidence l'influence de la composition des rations sur l'efficacité alimentaire et la croissance pondérale des caprins Djallonké.

Tableau 34 : Gain Moyen Quotidien (GMQ), l'indice de consommation alimentaire des chevreaux recevant une ration témoin (R0), ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2)

Paramètres	Chevreaux			P-valeur
	Témoin (R0)	Épluchures de Manioc (R1)	Feuilles de <i>M. indica</i> (R2)	
	Moyenne ± SEM			
Poids initial	6,50±0,84	7,00±0,84	6,58±1,11	0,623
Poids final	8,42 ^a ±1,20	9,42 ^a ±0,86	9,75 ^a ±1,04	0,103
Ingestion (kg/groupe/j)	3,97 ^a ±0,76	3,76 ^b ±0,82	4,09 ^a ±0,90	0,021
Gain Moyen Quotidien	22,86	28,57	37,71	-
Indice de Consommation	29,00	21,78	18,97	-

^{a, b et c} dans la même colonne les moyennes affectées de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5% ; SEM : Erreur Standard de la Moyenne ; P : Probabilité

Les caprins ayant reçus les rations R2 et R0 ont présenté respectivement les valeurs d'indices de consommation alimentaire (IC) les plus faibles (18,9) et les plus élevées (29,0). Ces résultats suggèrent que la substitution partielle du tourteau de coton par des feuilles fraîches de manguier ou des épluchures sèches de manioc a eu un effet bénéfique sur l'efficacité alimentaire et, par conséquent, sur la croissance pondérale des caprins Djallonké.

L'ingestion volontaire de la matière sèche (MS) a montré des variations significatives ($p \leq 0,05$) entre les différents lots d'animaux. Les rations R2 et R0 ont présenté des niveaux d'ingestion similaires, tandis que la ration R1 a induit la plus faible consommation, avec une moyenne de 380,72 g/MS par animal et par jour. Cependant, la digestibilité apparente de MS de ces rations, n'a pas montré de différence significative ($p \geq 0,05$) entre les lots d'animaux (Tableau 35).

Tableau 35 : Matière sèche volontairement ingérée, Digestibilité apparente de la matière sèche des chevreaux recevant une ration témoin R0, ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2)

	Chevreaux			
	Témoin (R0)	Epluchures de manioc (R1)	Feuilles de <i>M. indica</i> (R2)	P-valeur
	Moyenne ± SEM			
Ingestion (gMS)	449,60±17,00	380,72±15,01	459,65±17,80	0,003
Refus (gMS)	155,95±6,32	173,12±9,00	158,06 ±9,37	0,288
Digestibilité apparente (%)	60,76±0,028	51,90±0,031	61,50±0,039	0,072

a, b et c dans la même colonne les moyennes affectées de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5% ; MS : matière sèche ; SEM : Erreur Standard de la Moyenne ; P : Probabilité

Les émissions de CH₄ ont varié de manière significative ($p \leq 0,05$) en fonction des rations testées et des périodes de mesure. Les niveaux d'émission les plus élevés ont été observés au cours de l'après-midi, indiquant une influence temporelle sur la production de CH₄ (Tableau 36). Les rations R0 et R1 ont généré des émissions comparables, tandis que la ration R2 s'est distinguée par des niveaux d'émission, atteignant 41 % en matinée et 62 % dans l'après-midi par rapport aux autres rations.

Tableau 36 : Émission de CH₄ des chevreaux recevant une ration témoin (R0), ou l'une des rations expérimentales contenant les épluchures sèches de manioc (R1) ou des feuilles de manguier (R2) suivant les périodes de la journée

	Chevreaux	
	Quantité CH ₄ /3 mn (% d'air ambiant)	
Matin		
R0	0,064 ^b $\pm$ 0,035	
R1	0,067 ^b $\pm$ 0,022	
R2	0,087 ^a $\pm$ 0,106	
Après-midi		
R0	0,089 ^b $\pm$ 0,072	
R1	0,083 ^b $\pm$ 0,044	
R2	0,126 ^a $\pm$ 0,076	
	SEM	P
Lot	0,05	0,001
Période	0,04	0,001
Lot*Période	0,008	0,297

a, b et c dans la même colonne, les moyennes affectées de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5% ; SEM : Erreur Standard de la Moyenne ; P : Probabilité

Discussion

Ingestion alimentaire par les caprins

L'ingestion journalière moyenne de matière sèche (MS) a montré des variations selon les traitements alimentaires, tout en restant conformes aux recommandations pour les petits ruminants, établies entre 2 % et 6 % du poids vif des animaux (ARC, 1980; Baleseng et al., 2023). Les résultats de cette étude sont supérieurs à ceux rapportés par plusieurs études comparables. Par exemple, Kouakou et al. (2024) ont observé des valeurs respectives de 378, 384 et 371 g/j pour des chèvres Djallonké nourries avec des feuilles enrichies d'épluchures de manioc. Adamou et al. (2020) ont rapporté une consommation similaire chez des chèvres de Maradi recevant en complément des tourteaux de graines de *Balanites aegyptiaca*, tandis que Dindané-Ouédraogo et al. (2021) ont obtenu des résultats comparables en utilisant du tourteau de coton. Ajagbe et al., (2021), utilisant un ensilage d'épluchures de manioc comme supplément, ont observé une ingestion légèrement supérieure (575 g/j), et Ruvuga et al. (2022), en intégrant des feuilles de *Gliricidia sepium* dans les rations, ont enregistré 549 g/j.

Dans cette étude, la ration R2, enrichie de feuilles de manguier (*M. indica*), a permis une ingestion de MS de 610 g/j, supérieur à celles rapportées par Jiwuba et al., (2021) et Njoku et al. (2021) pour des rations comparables. Ces différences soulignent les impacts variés des rations sur la population microbienne du rumen, essentielle pour la digestion des aliments. L'ingestion d'une ration est influencée par plusieurs facteurs, notamment la nature et la qualité des composants, leur présentation, l'appétence et la digestibilité (Ajagbe et al., 2021; Offoumon et al., 2022; Ahmad et al., 2023; Adjatin et al., 2023; Baleseng et al., 2023; Kouakou et al., 2024). La ration R2 peut avoir été la plus ingérée en raison de la présence de feuilles de manguier, bien appréciées par les petits ruminants (Gninkplékpo et al., 2024). Le manguier est une ressource fourragère courante au Bénin, familière aux animaux en raison de la pratique de divagation, ou de leur intégration dans les pratiques d'alimentation à l'auge (Dahouda et al., 2019; Koura et al., 2021; Kouato et al., 2021; Edo et al., 2023). Ces feuilles sont relativement pauvres en lignine (ADL) (Gninkplékpo et al., 2024), ce qui les prédispose à être digestibles. Pendant la saison sèche, les caprins valorisent particulièrement les fourrages ligneux, qui peuvent à eux seuls répondre à leurs besoins nutritionnels (Dahouda et al., 2019; Koura et al., 2021).

Les épluchures de manioc, majoritairement reconnues comme une source énergétique, sont souvent associées à d'autres aliments pour équilibrer les apports nutritionnels. Divers traitements, tels que le séchage, l'ensilage ou l'enrichissement à l'urée, peuvent améliorer leur

valeur alimentaire (Ehouinsou et al., 2007; Montcho et al., 2016; Ajagbe et al., 2021; Jiwuba et al., 2021). Ajagbe et al., (2021) ont étudié le comportement d'ingestion des caprins nourris avec des épluchures de manioc enrichies avec différentes sources d'azote et avaient observé une forte ingestion de MS chez les animaux ayant consommés les épluchures de manioc traitées à l'urée. Dans cette étude, l'association des épluchures de manioc avec le tourteau de coton dans la ration R1 a toutefois conduit à une ingestion plus faible. Cela pourrait s'expliquer par la présence de composés antinutritionnels, tels que le gossypol dans le tourteau de coton et le cyanure ou les traces de tannins dans les épluchures de manioc (Montcho et al., 2016; Fasae et al., 2022). Cependant, des travaux précédents (Mkhize et al., 2014; Fomum et al., 2015; Chebli et al., 2021) n'ont pas établi de corrélation directe entre la teneur en tanins condensés d'un aliment et son ingestion par les caprins, suggérant que d'autres facteurs pourraient être en jeu.

Performance pondérale des caprins

L'ajout de feuilles de ligneux (Kronqvist et al., 2021; Ruvuga et al., 2022) ou des épluchures séchées de manioc (Ehouinsou et al., 2007; Montcho et al., 2017; Adegun et al., 2023) dans les rations pour les petits ruminants a démontré son efficacité pour améliorer l'ingestion alimentaire et le gain moyen quotidien (GMQ). Les résultats de cette étude corroborent ces affirmations, au vu de l'impact positif de l'inclusion des épluchures séchées de manioc (R1) et des feuilles de manguiers (R2) sur ces paramètres cités. Les épluchures de manioc et les feuilles de manguiers, deux ressources nutritives accessibles et digestibles (Montcho et al., 2017; Gninkplékpo et al., 2024), ont favorisé une meilleure conversion alimentaire des rations les contenant. Cependant, la ration R0 a conduit au GMQ le plus bas. Ce constat peut refléter la disponibilité limitée ou la faible qualité des protéines contenues dans cette ration, ainsi que les interactions complexes entre les nutriments des différents ingrédients.

Les performances de croissance observées dans cette étude sont en ligne avec les données de la littérature. Par exemple, Fasae et al., (2022) ont rapporté des GMQ allant de 23,21 à 26,25 g/j pour des ovins et de 6,55 à 31,90 g/j pour des caprins Djallonké nourris avec des rations contenant des épluchures de manioc. Gboshe et al., (2020) ont observé des GMQ de 23 à 45 g/j en utilisant uniquement des épluchures de manioc ou en combinaison avec des épluchures de canne à sucre comme supplément. Montcho et al., (2017) ont atteint un GMQ de 51 g/j chez les ovins Djallonké en intégrant 40 % d'épluchures séchées de manioc dans la ration. Ces résultats confirment l'intérêt de valoriser ces ressources dans des rations équilibrées pour les petits ruminants. Oni et al., (2017) avaient par ailleurs indiqué que les rations supplémentées avec les épluchures de manioc n'avaient aucun effet négatif sur le fonctionnement des microorganismes du rumen chez les caprins Djallonké.

La ration R2, contenant des feuilles de manguier (*M. indica*), a permis d'atteindre le GMQ le plus élevé (37,71 g/j) et le meilleur indice de consommation (IC). Ces performances peuvent s'expliquer par une dégradation plus élevée de cet aliment par le microbiote de la flore intestinale, rendant disponibles les nutriments essentiels tels que l'énergie, les acides aminés, et les minéraux, indispensables au développement du tissu musculaire. L'étude de Jiwuba et al. (2021) ont rapporté des GMQ supérieurs (66 g/j) en associant des feuilles de manguier à d'autres ressources alimentaires dans des rations complètes. Les variations des résultats d'une étude à une autre, pourraient être liées aux composantes des rations, et l'utilisation de celles-ci par l'organisme des animaux. L'action potentielle de l'acide cyanhydrique contenu dans les épluchures de manioc ou des tanins (faiblement présents) mais de façon plus importante dans les feuilles de manguier (Montcho et al., 2016; Fasae et al., 2022; Barwani et al., 2022) aura été moins préjudiciable à la valorisation de ces rations par les caprins. En effet, grâce à leur appareil cellulolytique bactérien hébergé dans le microbiote ruminal, et ayant une activité sur le tannin, les caprins ont un profil particulier en comparaison aux autres ruminants, et sont fort capables de valoriser des aliments de faibles valeurs nutritionnelles (Molina-Alcaide et al., 2008; Chebli et al., 2021). Par une excrétion massive de salive riche en protéines regorgeant de proline, connue pour inhiber le tannin condensé, les caprins s'adaptent au contact d'une ration riche en tanin ont rapporté certains travaux (Mkhize et al., 2014; Chebli et al., 2021). L'écotype animal, l'âge des animaux, et l'environnement pourraient aussi expliquer les différences de résultats pour les différentes études. Du fait du croisement incontrôlé des animaux en milieu réel, les races pures s'érodent pour donner des sous-écotypes, et les paramètres morphométriques qui diffèrent suivant les régions agro écologiques (Whannou et al., 2023).

Digestibilité et émission de CH₄ par les caprins

La digestibilité de la MS n'a pas varié significativement ($p \geq 0,05$) entre les différentes rations testées, avec des valeurs avoisinant 60%. Cette homogénéité peut être attribuée à la présence d'ingrédients riches en énergie et en protéines, tels que le tourteau de coton et les épluchures de manioc, dont les caractéristiques favorisent une bonne digestibilité. Ces observations concordent avec les travaux de Kalio (2014) et Montcho et al. (2017), qui ont démontré une forte dégradabilité des rations contenant des sous-produits de racines et tubercules, notamment les épluchures de manioc. Selon ces auteurs, cette dégradabilité est liée à la fermentation rapide de l'amidon contenu dans ces ressources, considéré comme plus facilement dégradable que les fibres issues des fourrages (Bindelle et al., 2004; Akinyemi et al., 2023). Okoruwa et al. (2020) ont constaté que l'intégration de feuilles de ligneux dans les rations augmente la digestibilité apparente de la MS, des protéines brutes (PB) et des fibres,

tout en améliorant la rétention d'azote et en favorisant la synthèse de propionate, avec une diminution concomitante des protozoaires du rumen. En somme, la composition nutritionnelle des ingrédients alimentaires, en particulier leur teneur en protéines, fibres et énergie, joue un rôle prépondérant dans la digestibilité des rations ingérées par les ruminants (Jiwuba et al., 2021; Ajagbe et al., 2021). Les résultats obtenus avec la ration R2, contenant des feuilles de manguier, corroborent ceux rapportés par Jiwuba et al. (2021) et Ruvuga et al. (2022), confirmant que les feuilles de *M. indica* sont bien digestibles par les ruminants. Ces résultats témoignent que les ressources alimentaires étudiées peuvent se substituer partiellement au tourteau de coton sans compromettre la digestibilité globale des rations chez les caprins Djallonké.

Concernant les pourcentages de méthane au niveau du volume d'air sortant, des différences significatives ($p \leq 0,05$) ont été observées entre la ration R2 d'une part et les deux autres rations d'autre part. Les émissions moyennes calculées à partir de ces pourcentages sont de 235,0, 230,5 et 327,0 mg CH₄ par jour et par chevreau recevant les rations R0, R1 et R2, respectivement. Ces valeurs d'émissions de CH₄ (0,16 à 0,23 ppm/minute) étaient de loin inférieures à celles enregistrées (75 à 200 ppm/minute) par Chelpo et al., (2024) en testant l'effet de la poudre des feuilles de *Vachellia eriolaba* dans les rations des agnelles recevant avec la paille de maïs traitée ou non avec de l'ammoniac. Beleke et al. (2025) ont aussi rapporté des valeurs d'émissions de CH₄ (17 à 23 g/jour) supérieures à celle de cette étude en testant les effets des feuilles séchées d'*Acacia nilotica*, de *Ziziphus spina-christi* et des drêches de brasserie, dans la ration des ovins adultes. Chez les Zébu Fulani, Gbenou et al., (2024b) a observé des valeurs d'émissions de CH₄ allant de 52 à 73 g/j et 76 à 96 g/j respectivement pour les rations composées de ressources de pâturage et de sous-produits de céréale et les rations faites de herbacées fourragères associées aux pailles de légumineuses (arachide, niébé). Toutes les rations contenant les sous-produits de céréales et de légumineuses ont entraîné des niveaux d'émissions bas par rapport aux rations contrôles. Par ailleurs, Phillippe et al. (2015), en évaluant les émissions de CH₄ chez les truies gestantes et les porcs en engraissement nourris soit avec un régime alimentaire témoin à base de céréales, soit avec un régime alimentaire riche en fibres à base de pulpe de betterave sucrière ont constaté de fortes émissions pour les deux catégories de porcs nourris avec la ration riche en fibre (42 g/j pour truie gestante, et 38 g/j pour porc en engraissement). On aperçoit que plusieurs facteurs tels que l'espèce animale, le stade physiologique, la composition des rations, et l'assimilation de ces rations par les animaux sont des éléments qui influencent les émissions de CH₄. Dans cette étude, la ration R2, incluant des feuilles de manguier a donc conduit à des émissions plus élevées. Si tous les chevreaux ont ingéré la même quantité de fibres NDF, les chevreaux du groupe R2 ont significativement ingéré proportionnellement

moins de lignine (ADL) et donc plus de fibres fermentescibles (cellulose et hémicellulose), ce qui pourrait expliquer cette différence significative au niveau des émissions de CH₄. Les émissions dépendent donc de la quantité de fibres mais également du type de fibre ingérées, qui sont elles-mêmes dépendantes du stade phénologique des plantes utilisées. Les travaux de Guglielmelli et al. (2011) ont souligné l'influence du stade phénologique sur les niveaux d'émissions de CH₄, avec une tendance à l'augmentation des émissions lorsque les plantes atteignent des stades plus avancés. Par ailleurs, bien que de nombreux auteurs aient rapporté que les tanins présents dans les feuilles de ligneux réduisent la production de CH₄ (Doreau et al., 2017; Rira, 2019; Cardoso-Gutierrez et al., 2021), leur effet dépend de plusieurs facteurs, notamment leur concentration, leur structure chimique, leur origine botanique, ainsi que les caractéristiques des animaux étudiés (Piluzza et al., 2014). Bueno et al., (2015) ont montré que l'effet des tanins sur la réduction des émissions de CH₄ est généralement plus prononcé chez les gros ruminants que chez les petits. Ces tanins n'ont pas pu être mesurés dans le cadre de cet essai.

Les résultats associés aux rations R0 et R1, riches en concentrés (tourteau de coton et épiluchures de manioc), ayant engendré des émissions de CH₄ significativement plus faibles, corroborent les observations de Jouany et al. (2008) et Doreau et al. (2017). Ces auteurs ont montré que les pertes énergétiques sous forme de CH₄ diminuent lorsque les rations sont plus riches en hydrates de carbones digestibles et plus pauvres en parois végétales (hydrates de carbones fermentescibles), ou contiennent des acides gras polyinsaturés (comme l'acide linoléique). Ces rations favorisent une fermentation plus efficace, en réduisant le ratio acétate/propionate et la production de CH₄. De plus, l'élimination des protozoaires du rumen, souvent observée chez les petits ruminants recevant des régimes riches en concentrés, ne semble pas affecter négativement l'activité cellulolytique dans le rumen (Yáñez-Ruiz et al., 2010). Les niveaux d'émissions de CH₄ plus élevés enregistrés dans l'après-midi par rapport à la matinée s'expliqueraient par l'accumulation des processus fermentaires consécutifs aux repas du matin et à l'ingestion subséquente de l'après-midi. Cette tendance reflète l'intensité des processus métaboliques dans le rumen.

Conclusion

La supplémentation alimentaire des caprins constitue une solution efficace pour pallier le déficit fourrager, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, et ainsi améliorer la productivité des élevages. Cette étude a démontré que l'intégration de ressources alimentaires locales, telles que les épluchures sèches de manioc et les feuilles de manguier, dans les rations des caprins Djallonké, représente une alternative performante, particulièrement adaptée aux éleveurs à faibles revenus. L'incorporation partielle de ces ressources en remplacement du tourteau de coton a permis d'améliorer significativement les performances zootechniques, notamment le GMQ et l'IC. Les caprins nourris avec la ration R2 (incluant des feuilles de manguier) et la ration contenant des épluchures sèches de manioc (R1) ont montré des performances très appréciables en termes d'ingestion et de gain de poids.

De plus, la digestibilité de la MS a été satisfaisante pour toutes les rations testées. Cependant, la ration R2, bien qu'associée au GMQ le plus élevé, s'est également distinguée par un niveau d'émissions de CH₄ entérique plus important. Cette observation souligne la nécessité d'optimiser l'usage des feuilles de manguier dans les rations, notamment pour réduire leur impact environnemental tout en maintenant leurs bénéfices sur la croissance des caprins. Cette étude encourage l'utilisation rationnelle des feuilles de manguier et des épluchures de manioc dans l'alimentation des caprins Djallonké. Ces ressources offrent une alternative économiquement viable au tourteau de coton, avec des implications positives pour la réduction des coûts de production et l'amélioration des rendements zootechniques dans les systèmes d'élevage extensif. Ces résultats pourraient servir de base pour les programmes de développement étatiques ou non gouvernementaux visant à soutenir l'élevage des petits ruminants dans les zones rurales.

Les perspectives de cette étude ouvrent la voie à des recherches complémentaires sur :

- La diversité raciale en évaluant l'efficacité de ces rations sur d'autres races de caprins, notamment les écotypes sahéliens ou métis, pour mieux comprendre leur réponse physiologique et zootechnique,
- Des espèces animales supplémentaires pour tester ces rations sur d'autres espèces herbivores ou pseudo-herbivores, telles que les bovins et les lapins, afin de valider leur applicabilité au-delà des caprins.

Discussion - Perspectives

Chapitre 8 : Discussion générale

Changement climatique : perceptions et adaptations dans les élevages de petits ruminants

Au Bénin, les recherches sur les perceptions et stratégies d'adaptation des communautés pastorales et agropastorales face aux effets du changement climatique se sont largement concentrées sur l'élevage de bovins (Koura et al., 2015 ; Lesse et al., 2017 ; Idrissou et al., 2020 ; Montcho et al., 2022 ; Djohy et al., 2022). En revanche, l'élevage de petits ruminants a suscité moins d'intérêt de la part de la communauté scientifique, malgré son importance pour la subsistance des populations rurales et vulnérables (Dossa et al., 2008 ; Fernand et al., 2013 ; Dimon et al., 2022 ; Zanou et al., 2023 ; Gninkplékpo et al., 2024). Or, la disponibilité de données fiables à ce sujet est essentielle pour élaborer des stratégies permettant d'accroître durablement la production locale, de répondre à la demande croissante en protéines animales, et d'améliorer les moyens de subsistance des communautés rurales (Fernand et al., 2021). Ces informations sont également indispensables aux décideurs pour concevoir des programmes de développement adaptés aux besoins spécifiques des éleveurs et éleveuses. Une meilleure compréhension des perceptions des éleveurs permet d'identifier les interventions les plus appropriées pour répondre efficacement aux impacts du changement climatique (Banjoko et al., 2021). Dans ce contexte, la première étude a examiné les perceptions des éleveurs de petits ruminants face à la variabilité climatique et les stratégies d'adaptation qu'ils mettent en œuvre pour maintenir ou améliorer la productivité animale. En utilisant une approche participative ascendante, des enquêtes de terrain ont été menées afin de connaître et d'intégrer les savoirs locaux des éleveurs dans l'élaboration de recommandations pratiques et de politiques adaptées (Frédéric, 2019). Une telle approche facilite l'acceptation des innovations par les éleveurs et garantit leur pertinence dans les contextes locaux.

Les résultats de cette recherche montrent que les éleveurs de petits ruminants perçoivent les évolutions du climat principalement à travers l'instabilité des précipitations et des températures. Les variations observées incluent une irrégularité des saisons pluvieuses, des diminutions des quantités de pluie, l'apparition de poches de sécheresse et des hausses des températures avec une intensité accrue de l'insolation. Ces fluctuations influencent directement et négativement la quantité et la qualité des ressources fourragères disponibles, entraînant une diminution significative de la productivité animale. Ces observations corroborent les résultats d'études menées dans d'autres régions d'Afrique subsaharienne (Zampaligré et al., 2014 ; Cuni-Sanchez et al., 2019 ; Banjoko et al., 2021 ; Montcho et al.,

2022). Il a également été rapporté que le stress thermique accru, associé à une réduction de l'accès aux fourrages et à l'eau, a des effets négatifs directs sur les performances des animaux (Nardone et al., 2010 ; Joy et al., 2020 ; Banjoko et al., 2021).

Face à ces contraintes, les éleveurs adoptent diverses stratégies d'adaptation (Mortimore et Adams, 2001 ; Naah et al., 2018), notamment la conduite des animaux en libre divagation, particulièrement en saison sèche. Cette pratique, qui repose sur l'utilisation des pâturages naturels, permet de minimiser les coûts de production (Awa et al., 2004 ; Vall et al., 2014 ; Missohou et al., 2016). Cependant, elle expose les animaux à de nombreux risques, tels que les maladies, les vols, la prédation et les accidents de route. De plus, elle est source de conflits sociaux avec les agriculteurs en raison des dégâts causés par les animaux sur les cultures (Awa et al., 2004 ; Missohou et al., 2016). Cette pratique est également en contradiction avec la politique nationale qui encourage la sédentarisation des troupeaux à travers des initiatives telles que le Projet de Sédentarisation des Troupeaux de Ruminants (ProSer). Tenant compte de ces facteurs environnementaux, sociaux, et politiques, la durabilité de cette stratégie semble compromise. Les autres solutions sont la diversification des ressources d'alimentation, et l'intensification alimentaire au profit des petits ruminants. Ces solutions se révéleraient efficaces si les éleveurs avaient reçu une éducation sur l'utilisation rationnelle des ressources d'alimentation notamment sur les valeurs nutritionnelles, les seuils d'utilisation et des techniques de conservation (Montcho et al., 2018). L'amélioration de l'efficacité d'utilisation des ressources alimentaires et l'augmentation de la productivité des animaux doivent s'appuyer sur le renforcement des liens entre la recherche scientifique, la vulgarisation, et la formation des éleveurs, en privilégiant la durabilité des systèmes d'exploitation agricole intégrés (Devendra et al., 2011 ; Raji et al., 2024).

La stratégie d'exploration de nouvelles ressources alimentaires offre un potentiel intéressant pour réduire la pression sur les ressources conventionnelles. Cependant, leur adoption nécessite un accompagnement technique pour garantir leur utilisation optimale. La production et la conservation des fourrages, bien qu'efficaces pour garantir l'autonomie alimentaire, sont peu développées dans le milieu d'étude, notamment dans le Sud. Cette situation serait probablement due à l'expérience des éleveurs, au manque ou à la sous-information, et la non-maîtrise des techniques de production. Dans les zones nordiques, où ces pratiques sont mieux intégrées, leur mise en œuvre est entravée par un manque de moyens techniques et financiers.

En somme, l'analyse des stratégies d'adaptation a révélé des disparités selon les AEZ, l'ethnie des éleveurs, et les espèces élevées. Si certaines pratiques traditionnelles permettent de réduire les coûts, elles compromettent souvent la durabilité sociale et environnementale. En

revanche, les innovations telles que l'intensification alimentaire et la conservation des ressources fourragères, bien que prometteuses, exigent des formations spécifiques et du soutien financier et institutionnel. L'accompagnement des structures d'encadrement des éleveurs (Etat, ONG) est indispensable pour faire intégrer ces innovations dans la chaîne de production des petits ruminants au Bénin.

Diversité des pratiques et des ressources d'alimentation des petits ruminants

Indépendamment des ZAE, la présence ou l'absence de cultures sur les champs influençait le mode de gestion des petits ruminants, en déterminant leur divagation libre ou leur maintien sous surveillance (confinement, attaché au piquet, ou surveillance par un berger). Ces pratiques visaient à prévenir les conflits potentiels entre agriculteurs et éleveurs, particulièrement en saison des pluies, lorsque les champs sont en culture. La récurrence des tensions entre ces deux groupes compromet leur cohabitation harmonieuse et leur cohésion sociale (Komi, 2018 ; Djohy et al., 2021 ; Djihouessi et al., 2022 ; Timpong-Jones et al., 2023). L'absence d'aménagement des espaces ruraux contribue à ces conflits récurrents. Une meilleure planification permettrait de délimiter distinctement les zones de pâturage et les couloirs d'accès aux ressources de celles réservées aux cultures.

En réponse aux défis liés à la divagation des petits ruminants, les éleveurs ont adopté d'autres mesures prioritaires telles que la diversification des ressources alimentaires et l'intensification de leur gestion. Cette étude a permis d'identifier une large gamme de ressources alimentaires regroupées en catégories principales, incluant les fourrages verts (herbacées et ligneux), les résidus de récolte, et les sous-produits agroindustriels. Ces résultats corroborent des travaux antérieurs (Montcho et al., 2016 ; Dahouda et al., 2019 ; Koura et al., 2021 ; Kouato et al., 2021 ; Edoh et al., 2023). À partir de ces ressources, quatre stratégies d'alimentation des petits ruminants, motivées par des logiques variées, ont émergé. Ces stratégies reposaient sur la disponibilité et l'accessibilité des ressources alimentaires aux éleveurs (Montcho et al., 2016 ; Montcho et al., 2024).

Au fil du temps, les pasteurs et agro-pasteurs coexistent avec leur environnement, en développant des systèmes adaptatifs et complexes (Berkes et al., 2000 ; Naah et al., 2018). Ces systèmes s'appuient sur l'exploitation des plantes fourragères naturelles pour leur subsistance (Volpato et al., 2014). Les résultats de cette étude corroborent cette observation, montrant que, quelles que soient les ZAE et les stratégies adoptées, les ressources naturelles des pâturages (herbacées et ligneux) restent une base essentielle pour l'alimentation des petits ruminants. Certains élevages (13,7%) dépendaient exclusivement des pâturages naturels pour nourrir leurs animaux, et ce, tout au long de l'année. Les fourrages ligneux

étaient particulièrement prisés, en accord avec les travaux de Koura et al. (2021), Ahouangan et al. (2022) et Assani et al. (2024). Leur utilisation, fréquente en saison pluvieuse (lorsque les animaux sont en stabulation) et en saison sèche (lorsque les herbacées sont rares), était favorisée par leur disponibilité quasi permanente et par les connaissances traditionnelles des éleveurs à leur égard. Le système sylvopastoral, a été identifié par Assani et al. (2024) comme un modèle optimal pour valoriser les ressources environnementales face au changement climatique, aux contraintes financières des éleveurs, et à la pression démographique. Cela s'inscrit en plus dans les orientations politiques actuelles du Bénin, où l'État promeut la sédentarisation des troupeaux pour atténuer les conflits entre agriculteurs et éleveurs, ainsi qu'entre éleveurs eux-mêmes.

Au Bénin, les pratiques d'élevage se transmettent principalement de manière verticale, au sein des familles. Bien que ce mode de transmission intergénérationnel garantisse la préservation des connaissances de base, il intensifie la pression sur les ressources d'alimentation traditionnelles. Cela concerne particulièrement certaines plantes fourragères telles *Azizelia africana*, *K. senegalensis*, *Pterocarpus erinaceus*, *Zanthoxylum zanthoxyloides* et *Morinda lucida*, classées vulnérables (Sèwadé et al., 2016 ; Zakari et al., 2017 ; Adjonou et al., 2020 ; Yaovi et al., 2021 ; Amegbenyuie et al., 2023 ; Gilbert et al., 2023). L'absence de réglementation pour l'accès aux ressources ligneuses dans les pâturages communautaires accentue leur surexploitation, menaçant leur durabilité. Le manque de connaissances fiables et approfondies des feuilles de ligneux par les éleveurs, engendre une utilisation non raisonnée de ces ressources. En raison de la dégradation et de la baisse de productivité des fourrages (Holou et al., 2009 ; Lesse et al., 2017 ; Boni et al., 2019 ; Seidou et al., 2020 ; Djohy et al., 2022), et sans stratégies de gestion optimales et durables, les élevages seront davantage exposés aux effets néfastes du changement climatique. Les modifications saisonnières dans la disponibilité des fourrages posent également de nouveaux défis de gestion (Ripple et al., 2014 ; Sejian et al., 2015 ; Henry et al., 2018).

D'autres stratégies d'alimentation, combinant l'utilisation de sous-produits agroindustriels et/ou de résidus de culture aux pâturages naturels, variaient selon les ZAE, l'espèce de petits ruminants, et les saisons de l'année. Par exemple, les éleveurs des ZAE de la vallée de l'Ouémé, du Plateau et de la chaîne de l'Atacora privilégiaient les sous-produits agroindustriels, tandis que ceux des zones de Mékrou-Pendjari et du Sud-Borgou intégraient davantage les résidus de culture. Ces observations rejoignent les résultats de travaux antérieurs (Dahouda et al., 2019 ; Kouato et al., 2021 ; Zanou et al., 2022). Des constats qui se justifieraient par la disponibilité dans le milieu, l'accessibilité, et les connaissances d'utilisation des éleveurs et éleveuses sur chacune de ces ressources d'alimentation.

Les régions arides et semi-arides, caractérisées par des températures élevées et de faibles précipitations, se distinguent par un couvert végétal de faible valeur nutritive, en grande partie en raison de l'accumulation de métabolites secondaires (tannin, phénol, flavoïde). Ce déficit fourrager, particulièrement marqué en saison sèche, y est plus accentué que dans les milieux humides. Ce qui explique les différences de pratiques alimentaires observées entre les éleveurs du Nord et ceux des régions agroécologiques du Sud (Koura et al., 2016 ; Diogo et al., 2018 ; El Koudrim, 2021). Cette deuxième étude a confirmé l'intérêt croissant pour l'utilisation des sous-produits agroindustriels et des résidus de récolte dans l'alimentation des petits ruminants, surtout en saison sèche, lorsque les ressources fourragères sont à la fois limitées en quantité et dépréciées en qualité nutritionnelle. La disponibilité de ces sous-produits et résidus est étroitement liée aux spéculations agricoles locales et aux activités de transformation dans les milieux étudiés (Montcho et al., 2016).

Parmi les stratégies alimentaires identifiées, celle combinant les sous-produits agroindustriels et les résidus de culture aux ressources de pâturage naturel s'est révélée la plus valorisante. Cette approche permet de pallier les contraintes de disponibilité, d'accessibilité et d'équilibre nutritionnel des ressources naturelles. Elle répond ainsi aux besoins d'entretien et de production des petits ruminants tout au long de l'année. Cependant, la sous-utilisation des sous-produits agroindustriels et des résidus de récolte, par rapport aux fourrages ligneux, semble résulter de plusieurs contraintes, notamment le manque d'informations techniques, les coûts d'achat pour les ressources commercialisées, les difficultés liées au transport et à la conservation, ainsi que la disponibilité irrégulière de ces produits (Montcho et al., 2018 ; Diogo et al., 2018 ; Mutwedu et al., 2022). Les pratiques d'élevage et d'alimentation observées variaient également en fonction des connaissances des éleveurs et de leur appartenance ethnique. Les éleveurs des ethnies Peulh et Dendi, historiquement reconnus pour leur expertise dans l'élevage de ruminants, adoptaient des pratiques différentes de celles des éleveurs issus d'autres groupes ethniques. Ces pratiques englobent par exemple la conduite sous au pâturage (indépendamment de la saison de l'année), des petits ruminants sous la supervision d'un berger, l'utilisation accrue de compléments alimentaires, la conservation des résidus de récolte et autres ressources fourragères. Ces constats soulignent l'importance d'instaurer des mécanismes de transfert de connaissances, par la vulgarisation des bonnes pratiques, pour favoriser l'amélioration des performances des élevages dans les différentes ZAE (Amole et al., 2016). Par ailleurs, la recherche scientifique doit jouer un rôle clé en fournissant des informations précises sur l'utilisation optimale de ces ressources dans l'alimentation des petits ruminants.

L'analyse bromatologique des ressources alimentaires inventoriées a confirmé leur potentiel à satisfaire les besoins nutritionnels des petits ruminants. Les feuilles de ligneux fourragers présentaient des teneurs en matière sèche, en protéines brutes, et en fibres détergentes neutres relativement conformes aux recommandations du NRC (2007), tant pour les besoins d'entretien que pour divers niveaux de production. Ces feuilles sont particulièrement appréciées pour leurs valeurs énergétiques et protéiques élevées (Sidi Imorou et al., 2016 ; Koura et al., 2021 ; Terefe et al., 2022 ; Yigzaw et al., 2022 ; Dione et al., 2022). De même, les sous-produits agroindustriels, bien que leur composition varie selon leur catégorie, affichent de bonnes valeurs nutritives. Par exemple, le tourteau de coton et le son de soja ont des teneurs en protéines brutes dépassant 25 %, comme le rapportent plusieurs études (Montcho et al., 2016 ; Ogunbosoye et al., 2020). Ces sous-produits se distinguent également par leur faible teneur en fibres et leur fort potentiel énergétique (Kamati et al., 2022 ; Terefe et al., 2022 ; Yigzaw et al., 2022). Ces caractéristiques en font des ressources stratégiques pour les élevages d'engraissement, à condition que les éleveurs disposent des informations techniques utiles d'utilisation, et que leurs coûts restent abordables. Le manque d'informations sur les techniques de conservation, ainsi que les préférences alimentaires des petits ruminants, constituent une barrière à l'exploitation optimale des sous-produits agroindustriels. Les résidus de culture, eux aussi, offrent un potentiel intéressant, avec certaines catégories riches en protéines et d'autres en énergie (Isaac et al., 2022). Lorsqu'ils sont bien intégrés dans des rations équilibrées, ces résidus peuvent également améliorer les performances zootechniques des petits ruminants (Koura et al., 2016 ; Isaac et al., 2022 ; Dokui et al., 2023). Les contraintes liées à leur exploitation, comme celles des sous-produits agroindustriels, incluent des défis techniques, et de transport. En résumé, les ressources alimentaires des terroirs, bien que variées et potentiellement très utiles, nécessitent une gestion optimisée et un soutien technique accru pour permettre leur valorisation intégrale dans les élevages.

Préférence alimentaire et digestibilité des feuilles de ligneux par les petits ruminants

Les feuilles de ligneux occupent une place centrale dans l'alimentation des petits ruminants, principalement en raison de leur disponibilité et de leur accessibilité tout au long de l'année dans les différentes régions agroécologiques. Cependant, un déficit d'informations persistait sur le comportement alimentaire des petits ruminants vis-à-vis de ces ressources. Ces données sont pourtant essentielles pour une gestion optimale des ressources ligneuses dans les systèmes d'élevage (Thamina et al., 2020 ; Chebli et al., 2022). Pour l'environnement, le maintien d'une diversité végétale, incluant les herbacées, arbustes et arbres, s'avère également crucial pour préserver l'intégrité et les fonctions écologiques des parcours (Torralba et al., 2018 ; Sharifian et al., 2023).

Dans cette étude, les ovins Djallonké soumis à un test de préférence alimentaire sur six espèces de feuilles de ligneux ont manifesté des intérêts variables pour ces ressources. Les résultats ont révélé une appétence marquée pour les feuilles de *M. indica*, de *G. arborea*, et de *B. sapida*, avec une préférence notable pour *M. indica*. Ces feuilles, en plus d'être bien appréciées, se sont avérées digestibles, et leur teneur protéique acceptable renforce leur potentiel en alimentation animale. Par ailleurs, *M. indica* présente l'avantage d'être largement répandu dans toutes les zones agroécologiques du Bénin (DSA, 2024a ; Zinsou et al., 2017). Ces caractéristiques suggèrent que cette espèce pourrait être valorisée davantage à travers des initiatives d'agroforesterie ou de projets de vergers, visant à optimiser ses usages fourragers. Cependant, avant une promotion généralisée de cette ressource, une documentation complète des différentes variétés de manguier présentes sur le territoire s'impose. Cela permettra d'identifier celles offrant les meilleures performances en termes de valeur nutritive et de production de biomasse. Une attention particulière doit être portée à leur teneur en tannins, connue pour limiter leur incorporation dans les rations alimentaires des petits ruminants au-delà d'un seuil d'incorporation de 5% de la matière sèche. La gestion de la contrainte liée aux facteurs antinutritionnels des aliments a motivé des études portant sur les performances zootechniques obtenues à partir de rations intégrant des ressources alimentaires locales, telles que les feuilles de *M. indica* (Gninkplékpo et al., 2024), et les épiluchures sèches de manioc (Ehouinsou et al., 2007 ; Montcho et al., 2016).

Performances zootechnique et environnementale des petits ruminants nourris avec des rations contenant les feuilles de manguier ou des épiluchures de manioc

Les performances induites par des rations composées de ressources sélectionnées en raison de leur importance dans l'alimentation des petits ruminants au Bénin, ont été évaluées. Il s'agit de *Panicum maximum* (variétés locales et C1), de tourteau de coton, de feuilles de manguier (*M. indica*) et des épiluchures sèches de manioc (*M. esculenta*) (Montcho et al., 2016 ; Koura et al., 2021 ; Dokui et al., 2023 ; Gninkplékpo et al., 2024).

Selon Montcho et al. (2016), le tourteau de coton, riche en énergie et en protéines, représente un sous-produit agroindustriel prisé mais coûteux pour les éleveurs. Réduire les coûts d'alimentation implique donc un remplacement partiel ou total de cette ressource par d'autres ressources alternatives de bonne valeur nutritive, et à faible ou sans valeur marchande. Parmi les ressources d'alimentation répertoriées, les feuilles de manguier et les épiluchures de manioc apparaissent comme des choix prometteurs, au regard des critères sus-évoqués.

Les essais de substitution partielle du tourteau de coton dans les rations des petits ruminants par ces ressources ont permis d'obtenir de bonnes performances zootechniques. Les résultats

ont montré une amélioration de l'ingestion alimentaire, de l'indice de consommation et du gain moyen quotidien GMQ chez les animaux nourris avec des rations contenant des feuilles de Manguier (*M. indica*) ou des épluchures de manioc (*M. esculenta*). La digestibilité des rations était globalement satisfaisante.

L'évaluation des émissions de CH₄, par un dispositif qui aspire le gaz éructé était proche de la technique utilisée par de nombreux auteurs (Lessire et al., 2016 ; Chelpeo et al., 2024 ; Bekele et al., 2025) pour mesurer les rejets par les ruminants dans conditions expérimentales ou de ferme en Afrique subsaharienne (Gbenou et al., 2024b). La quantification des émissions permises par les rations de CH₄ a révélé des niveaux bas chez les caprins, excluant celle qui contient les feuilles de manguier. Ceci prouve la complexité dans l'action des tanins des feuilles de ligneux sur la réduction du CH₄ (Eugène et al., 2021 ; Rira et al., 2022) d'une part, et l'effet réducteur des émissions de CH₄ des régimes riches en concentrés d'autre part (Doreau et al., 2017 ; Giamouri et al., 2023). Une étude approfondie du profil tanique des différentes variétés de manguiers en fonction de leur stade phénologique serait nécessaire pour identifier les variétés les plus adaptées à une incorporation accrue dans les rations, tout en limitant les risques de diminution des performances zootechniques.

In fine, les résultats des 4^e et 5^e étude confirment le potentiel des feuilles de manguier et des épluchures de manioc pour améliorer les performances productives dans les élevages de petits ruminants, en particulier dans les unités d'embouche (pouvant se doter d'un verger de manguier) où l'intensification alimentaire est prioritaire. Ces ressources offrent une alternative viable, à la fois sur le plan économique et environnemental.

Cependant, quelques limites méthodologiques se dégagent de ces travaux. La sollicitation de l'appui des agents techniques agricoles dans le choix des fermes, la taille de l'échantillon des enquêtés, peuvent engendrer des biais liés à la représentativité des élevages dans le milieu d'étude. Il en est de même pour le recours aux interprètes pour la traduction du questionnaire aux éleveurs et aux éleveuses car leurs réponses dépendent de leurs compréhensions des questions. Aussi lors d'une enquête, les éleveurs s'appuient sur leur mémoire pour répondre aux questions, ne garantissant pas toujours la fiabilité des réponses. De plus le phénomène de délégation de droit de propriété des animaux des éleveurs femmes à leurs maris (plus en vue dans les ZAE du Nord), pour participer à l'enquête pourrait masquer quelques réalités.

Les enquêtes et les études expérimentales ayant eu lieu pour la plupart en saison sèche, très peu de ressources alimentaires disponibles et utilisées en saison pluvieuse ont été inventoriées, puis étudiées. Les teneurs en nutriments des plantes étant variables suivant les

saisons de l'année, les résultats d'études sur les ligneux fourragers pose la limite de saisonnalité.

Chapitre 9 : Conclusion et perspectives de recherche

La durabilité de l'alimentation des petits ruminants en s'appuyant sur des ressources locales disponibles et accessibles a constitué le fil conducteur de cette étude. L'objectif principal était de proposer une stratégie d'alimentation économique et adaptée, capable de répondre aux besoins d'entretien et de production des animaux. Les travaux menés ont mis en évidence la diversité des perceptions et des stratégies d'adaptation développées par les éleveurs de petits ruminants face aux effets du changement climatique. Les principales manifestations relevées par les éleveurs incluent des fluctuations des facteurs pluviométriques et thermométriques, telles que des retards dans l'installation des pluies, des poches de sécheresse en saison pluvieuse, une forte insolation et des variations de température. Ces observations varient selon les ZAE. Les impacts perçus incluent une diminution de la productivité des pâturages naturels, une croissance ralentie des animaux, ainsi qu'une moindre résistance aux maladies. Ces contraintes ont conduit les éleveurs à adopter diverses solutions palliatives, notamment la libre divagation des animaux, la diversification et l'intensification alimentaire, ainsi que l'exploration de nouvelles ressources et pratiques alimentaires. L'étude des ressources alimentaires et des stratégies utilisées a révélé une forte dépendance des systèmes d'élevage aux pâturages naturels, en particulier aux ligneux fourragers. Ces ressources, souvent spécifiques aux ZAE, constituaient la base de l'alimentation des petits ruminants, quelle que soit la saison. Par ailleurs, les sous-produits agroindustriels et les résidus de culture étaient fréquemment utilisés comme compléments alimentaires.

L'analyse bromatologique des ressources inventoriées a montré des variations dans leurs compositions nutritionnelles selon leur catégorie. Cependant, la majorité de ces ressources a été jugée adéquate pour nourrir efficacement les petits ruminants, seules ou en combinaison. Parmi les ressources préférées par les animaux figurent les feuilles de *M. indica*, *G. arborea* et *B. sapida*. Les rations intégrant des ressources localement disponibles et accessibles telles que les feuilles de *M. indica*, ou des épluchures sèches de manioc (*M. esculenta*), ont permis d'obtenir de bons résultats zootechniques en termes d'ingestion alimentaire, de croissance et de digestibilité. Cependant, les émissions de CH₄ ont varié en fonction des rations, avec un niveau élevé pour la ration contenant les feuilles de *M. indica* (potentiellement pourvues en métabolites secondaires). Ces feuilles sont bien complémentaires au tourteau de coton pour diminuer les charges de production et accroître le bénéfice des éleveurs et des éleveuses.

Ces résultats soulignent le potentiel des ressources alimentaires locales pour améliorer les performances productives des petits ruminants, tout en réduisant les coûts d'alimentation et

en révélant leur impact environnemental. La diffusion des résultats de cette thèse et l'accompagnement des éleveurs dans leur mise en œuvre sont indispensables, pour durablement améliorer les revenus des éleveurs. La prise en compte des perceptions et des mesures d'adaptation des éleveurs dans l'élaboration des projets et politiques liés au changement climatique, le renforcement de capacité des éleveurs dans la gestion des ressources alimentaires (production, utilisation optimale, et conservation), sont autant d'action qui nécessitent le soutien des organisations étatiques et non gouvernementales actives en milieu rural.

Relativement aux hypothèses de travail de départ, les trois premières ont été vérifiées. La dernière qui a trait aux effets des rations composées de ressources locales sur les émissions de CH₄ est mitigée.

A partir des acquis de cette thèse, plusieurs pistes de recherche complémentaires sont proposées :

- Etudes sur la variabilité des espèces de *M. indica* : identifier les principales variétés de *M. indica* (manguier) afin de déterminer celle qui ont de bonnes aptitudes fourragères ;
- Préférences alimentaires et performances selon les races : étudier les préférences des feuilles de ligneux et leurs impacts zootechniques et environnementaux chez les ovins et caprins des races sahélienne et métisse ;
- Valorisation des sous-produits agroindustriels et des résidus de culture : évaluer les préférences et les effets des sous-produits et résidus chez les petits ruminants des races Djallonké, sahélienne et métisse ;
- Études sur les métabolites secondaires : identifier les principaux métabolites secondaires présents dans les feuilles de ligneux, les sous-produits agroindustriels et les résidus de culture, ainsi que leurs interactions avec les microorganismes responsables de la fermentation entérique dans le rumen ;
- Quantification directe des émissions de CH₄ : compléter les travaux sur les émissions de méthane entérique des ovins par des méthodes d'évaluation directe.
- Etudes de qualité organoleptiques et chimiques de la viande et du lait ;
- Evaluation du profil sanguin des animaux: déterminer les paramètres hématologiques.

Ces perspectives contribueront à renforcer les connaissances sur l'utilisation durable des ressources locales et à proposer des solutions innovantes et adaptées pour l'élevage des petits ruminants.

Bibliographie

Bibliographie

- A. R. C. (Agricultural Research Council). (1980). The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock: Technical Review. Agricultural Research Council by the Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK.
- Abazinab, H., Duguma, B., Muleta, E. (2022). Livestock farmers' perception of climate change and adaptation strategies in the Gera district, Jimma zone, Oromia Regional state, Southwest Ethiopia. *Heliyon*, 8 (12), e12200. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12200>
- Abdou, H., Karimou, I. A., Harouna, B. K., Zataou, M. T. (2020). Perception of climate change among Sahelian pastoralists and strategies for adapting to environmental constraints: the case of the commune of Filingué in Niger. *Rev. Elev. Med.Vet. Pays Trop.*, 73 (2), 81-90. <https://doi.org/10.19182/remvt.31873>
- Aboh, A. B., Ehouinsou, M. A., Olaafa, M., & Brun, A. (2008). Complémentation alimentaire des ovins Djallonké avec les sous-produits de transformation d'ananas: Potentiel nutritif, préférence et développement pondéral. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 61, 25-30. http://www.slire.net/download/748/article4_brab61_aboh_et_al_complimentation_alimentaire-ovins_djallonke-sous-produits-ananas.pdf
- Abraham, A., Mohamed-Brahmi, A., Ngoundo, M. (2019). Resilience of livestock systems in the Sahelian band of Chad (case of the Kanem region): Adaptation tools to climate change. *Journal of new Sciences Sustainable Livestock Management*, 11 (1), 222-230
- Adamou, A., Daka, A., I. Sidikou, D., & Issa, C. (2020). Effets du tourteau des graines de *Balanites aegyptiaca* sur la consommation alimentaire et les performances zootechniques des cabris roux de Maradi. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13, 3355-3363. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.30>
- Adedigba, S., Diogo, R. V. C., Dossa, L. H., & Paul, B. K. (2023). Stratégies d'adaptation des élevages bovins sédentaires face à la territorialisation des parcours et aux insuffisances alimentaires au Nord Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 76, 1-11. <https://doi.org/10.19182/remvt.37257>

- Adegun, M. K., Ekundayo, F. G., & Ajayi, D. D. (2023). Growth and blood indices of west african dwarf rams fed urea treated cassava peels with graded levels of *Gliricidia sepium* fodder. *J. Anim. Health Prod*, 11(4), 420-429. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.jahp/2023/11.4.420.429>
- Aderinola, O. A., Farinu, G. O., Akinlade, J. A., Olayeni, T. B., Ojebiyi, O. O., Ogunniyi, P. O. (2007). Nutritional Potential of B. Sapida K Konig (Ackee Ackee) Leaves as a Dry Season Feed Resource for West African Dwarf Goats in the Derived Savanna Zone of Nigeria. *Livest. Res. Rural Dev.*, 19, 78.
- Adjatin, R. C. F., Koura, B. I., Adewumi, M., & Houinato, M. (2023). Effects of supplementing processed velvet beans (*Mucuna pruriens* L. DC. var. Utilis) on nutrients intakes, growth performance, and blood profile in goats. *Tropical Animal Health and Production*, 55(5), 311. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03745-7>
- Adjibodé, G., Tougan, U. P., Daouda, I. H., Zannou, M. S., Mensah, G. H., Youssao, A. K. I., Hanzen, C., Thewis, A., & Koutinhoun, B. (2016). Characteristics of African Dwarf sheep rearing systems used in the North and South of Benin. *International Journal of Current Advanced Research*, 5(9). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/230610>
- Adjonou, K., Abotsi, K. E., Segla, K. N., Rabiou, H., Houetchegnon, T., Sourou, K. N. B., Johnson, B. N., Ouinsavi, C. A. I. N., Kokutse, A. D., Mahamane, A., & Kokou, K. (2020). Vulnerability of African Rosewood (*Pterocarpus erinaceus*, Fabaceae) natural stands to climate change and implications for silviculture in West Africa. *Heliyon*, 6(6), e04031. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04031>
- Adomou, C. A. (2005). Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: implications for biogeography and conservation. PhD thesis, Wageningen University, 136p. <https://doi.org/10.18174/121707>
- Adomou, C. A., Mama, A., Missikpode, R., Sinsin, B. (2009). Cartographie et caractérisation floristique de la foret marecageuse de lokoli (Bénin). *Int J Biol Chem Sci*, 3(3), 492-503. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v3i3.45327>
- Agbokounou, A. M., Ahounou, G. S., Youssao, A. K. I., Mensah, G. A., Koutinhoun, B., & Hornick, J.-L. (2016). Caractéristiques de l'élevage du porc local d'Afrique. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 30(1), 4701-4713. <https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2016/07/1.Agbokounou-1.pdf>

Agossou, D. J., Dougba, T. D., & Koluman, N. (2017). Recent developments in goat farming and perspectives for a sustainable production in Western Africa. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(4), 2(4), 2047-2051. <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.4.62>

Agossou, D. S. M., Tossou, C. R., Vissoh, P., Agbossou, E. (2012). Perception of climatic disturbances, local knowledge and adaptation strategies of the Beninese producers. *African Crop Science Journal*, 20 (2), 565 – 588.

Ahmad, F., Singh, R., Ali, N., Sahu, D. S., Kumar, A., & Roy, D. (2023). Effect of feeding Moringa oleifera dried leaves on growth performance, blood biochemical status and economy of production in Barbari goats. *Range Management and Agroforestry*, 44(2), 363-369. <https://publications.rmsi.in/index.php/rma/article/view/1036>

Ahmed, M., Animut, G., Hassen, G., & Abdimahad, K. (2022). Performance of blackhead Ogaden sheep fed different grasses (Chloris gayana, Pennisetum purpureum, Panicum maximum and Cynodon dactylon) basal diets and the same concentrate mixture. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 12(4), 222-231. OI: <https://dx.doi.org/10.51227/ojafr.2022.30>

Ahouangan, B. S. C. M., Koura, B. I., Sèwadé, C., Toyi, M. S., Lesse, A. D. P., & Houinato, M. R. B. (2022). Ruminant keeping around mangrove forests in Benin (West Africa): Herders' perceptions of threats and opportunities for conservation of mangroves. *Discover Sustainability*, 3(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s43621-022-00082-x>

Ahounou, G. S., Agbokounou, A. M., Kiki, P. S., Hornick, J. L., & Youssao, A. K. I. (2018). Rendements et valeurs nutritionnelles des fanes d'Arachide utilisées pour l'alimentation des Petits Ruminants en zone tropicale. *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, 1(4), 1-5.

Ajagbe, A., & So, A. (2021). Nutrient intake of west african dwarf goats fed dietary models of ensiled cassava peel meal fortified with calcium-phosphorus salt. *Innovare Journal of Agri. Sci*, Vol 9, Issue 6, 5-8.

Akinyemi, B. T., Dele, P. A., Okukenu, O. A., Babatunde, M. O., Moronfolu, A. I., & Iposu, S. O. (2023). Nutrient quality and in vitro digestibility of dried cassava peel, mushroom degraded cassava peel and silage from guinea grass. *Nigerian Journal of Animal Science*, 25(3), 57-64. <https://www.njas.org.ng/index.php/php/article/view/1198>

Akoegninou, A., Van der Burg, W. J., Van der Maesen, L. J. G. (2006). Flore analytique du Bénin, Wageningen Agricultural University, 06, 2, Papers, Backhuys Publishers <https://edepot.wur.nl/281595>

Akponikpè, P. B. I., Johnston, P., Agbossou, E. K. (2010). Farmers' perception of climate change and adaptation strategies in Sub-Saharan West-Africa. *2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions*, August 16 - 20, Fortaleza - Ceará, Brazil, 16p

Alary, V., Duteurtre, G., Faye, B. (2011). Livestock and societies: the multiple roles of livestock in tropical countries. *In Prod Anim*, 24, 145-156. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.1.3246>

Albuquerque, U., Nunes, A., Lucena, R., and Santos, M. (2015). Local knowledge about fodder plants in the semi-arid region of Northeastern Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11,12. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-11-12>

Alemayehu, Z. Y., Minale, A. S., Legesse, S. A. (2022). Determinants of smallholder farmers' adaptation strategies to climate variability in Suha watershed, Upper Blue Nile basin, Northwest Ethiopia. *Arab J Geosci.*, 15,1725. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-11004-6>

Alexandre, G., Arquet, R., Fleury, J., Troupé, W., Boval, M., Archimède, H., Mahieu, M., & Mandonnet, N. (2012). Systèmes d'élevage caprins en zone tropicale : Analyse des fonctions et des performances. *INRAE Productions Animales*, 25(3), 305-316. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2012.25.3.3218>

Ali, I. B., Banoin, M., Garba, I., & Salifou, I. (2024). Caractérisation des ressources pastorales des parcours pastoraux en Zone Sahélienne et Soudanienne du Sahel Ouest Africain, Niger et Bénin. *Afrique Science*, 25(2), 54-73. <https://afriquescience.net/admin/postpdfs/ac3dc8363eb4a47409dcf68f4f1878551728332519.pdf>

Alonso-Díaz, M. A., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Hoste, H., Aguilar-Caballero, A. J., Capetillo-Leal, C. M. (2008). Is Goats' Preference of Forage Trees Affected by Their Tannin or Fiber Content When Offered in Cafeteria Experiments? *Anim. Feed Sci. Technol.*, 141, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.009>

- Amegbenyuie, V., Atakpama, W., Noundja, L., Komlan, B., & Koffi, A. (2023). Valeur d'usage et vulnérabilité des plantes fourragères de la préfecture d'Anié au Togo. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 76, 1-7. <https://doi.org/10.19182/remvt.36901>
- Amole, G., & Ayantunde, A. A. (2016). Improving livestock productivity: Assessment of feed resources and livestock management practices in Sudan-Savanna zones of West Africa. *African journal of agricultural research*, 11, 422-440. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10460>
- Amole, T. A., & Ayantunde, A. A. (2016). Climate-smart livestock interventions in West Africa: A review. *CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security Working Paper*, Copenhagen, Denmark. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16841.95840>
- Amole, T., Augustine, A., Balehegn, M., & Adesogoan, A. T. (2022). Livestock feed resources in the West African Sahel. *Agronomy Journal*, 114(1), 26-45. <https://doi.org/10.1002/aqj2.20955>
- Anbarasu, C., Dutta, N., Sharma, K., and Rawat, M. (2004). Response of goats to partial replacement of dietary protein by a leaf meal mixture containing *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Tectona grandis*. *Small Ruminant Research*, 51(1), 47-56. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00203-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00203-7)
- Aplogan, M. H. (2013). Etat des ressources génétiques animales au Bénin. *Direction de l'Elevage Cotonou-Benin*. 44p
- Archimède, H., Alexandre, G., Mahieu, M., Fleury, J., Petro, D., Garcia, G. W., Fanchone, A., Bambou, J.-C., Magdeleine, C. M., Gouridine, J.-L., Gonzalez, E., and Mandonnet, N. (2014). Agroecological Resources for Sustainable Livestock Farming in the Humid Tropics. In H. Ozier-Lafontaine and M. Lesueur-Jannoyer (Éds.), *Sustainable Agriculture Reviews*, 14, 299-330. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06016-3_9
- Archimède, H., Bastianelli, D. D., Boval, M., Tran, G. G., Sauvant, D. (2011). Ressources Tropicales: Disponibilité et Valeur Alimentaire. *INRA Prod. Anim.* 2011, 24, 23–40. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.1.3235>
- Archimède, H., Eugène, M., Magdeleine, C. M., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D. P., Lecomte, P., & Doreau, M. (2011). Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003>

- Ariom, T. O., Dimon, E., Nambeye, E., Diouf, N. S., Adelusi, O. O., Boudalia, S. (2022). Climate- Smart Agriculture in African Countries: A Review of Strategies and Impacts on Smallholder Farmers. *Sustainability*, 14, 11370. <https://doi.org/10.3390/su141811370>
- Asante, B. O., Villano, R. A., Patrick, I. W., and Battese, G. E. (2018). Determinants of farm diversification in integrated crop–livestock farming systems in Ghana. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 33(2), 131-149. <https://doi.org/10.1017/S1742170516000545>
- Assani, A. S., Yarou, A. K., Dedehou, N. V. F. G., Worogo, H. S., Baco, M. N., Houinato, M., Alkoiret, I. T. (2024). Towards Indigenous Community-Based Adaptation to Climate Change: A Typological Analysis of Tree-Livestock Integration in Smallholding Systems in Dryland Areas of Benin (West-Africa). *Agrofor. Syst.*, 98, 197–211. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00899-z>
- Assouma Habibou, M. (2016). *An ecosystem approach of the greenhouse gas balance of a sylvo-pastoral landscape in the Sahel: The contribution of livestock*. Thèse de doctorat, Agro Paris Tech, 231p; <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10651.46887>
- Atsbha, T., Wayu, S. (2020). Utilization of Indigenous Tree and Shrub Species as Animal Feed Resources in South Tigray, North Ethiopia, and Implication for Sustainable Livestock Production. *Amaz. Jour. of Plant Resear.*, 4, 594–608. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2020.b00069x>
- Atsiaya, G., Ayuya, O. I., Nakhone, L. W., Lagat, J. K. (2019). Drivers and responses to climate variability by agro-pastoralists in Kenya: the case of Laikipia country. *SN applied Sciences*, 1, 827. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0849-x>
- Atti, N., Rouissi, H., & Mahouachi, M. (2004). The effect of dietary crude protein level on growth, carcass and meat composition of male goat kids in Tunisia. *Small Ruminant Research*, 54(1-2), 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.09.010>
- Avorny, F. K., Partey, S. T., Zougmore, R. B., Asare, S., Agbolosu, A. A., Akufo, N. M., Sowah, N. A., Konlan, S. P. (2020). In Vivo Digestibility of Six Selected Fodder Species by Goats in Northern Ghana. *Trop. Anim. Health Prod.*, 52, 473–480. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01989-w>
- Awa, D., Njoya, A., Logtene, Y., Ndomadji, J., Onana, J., Asongwed-Awa, A., Tama, A., Djoumessi, M., Loko, B., Bechir, A., Delafosse, A., & Maho, A. (2004). Contraintes, opportunités et évolution des systèmes d'élevage en zone semi-aride des savanes d'Afrique

centrale. *Cahiers Agricultures*, 13, 331-340. <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30452>

Awohouédji, D. Y. G., Babatoundé, S., Adoukpe, J. G., Houinato, M., Hounzangbé-Adoté, S. (2013). Supplementing Panicum Maximum with Two Medicinal Forages in the Diet of Djallonké Sheep at the Benin National Sheep Center. *Sci. J. Anim. Sci.*, 2, 284–295.

Ayantunde, A., Umutoni, C., Dembele, T., Seydou, K., Samake, O. (2020). Amélioration de la production des petits ruminants dans les systèmes mixtes de cultures et d'élevage à travers des interventions sanito-alimentaires au sud du Mali. *Institut International d'Agriculture Tropicale*, 31p. <https://hdl.handle.net/10568/108423>

Azando, E. V. B., Tchétan, E., Houéhanou, T. D., Ahoyo, C. C., Gouissi, M. F., Adjovi, I. S. M., & Allou, S. Y. D. (2022). Traditional breeding of small ruminants in the North-West of Benin: Practices and inventory of food resources. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(3), 1180-1192. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i3.22>

Azonkpin, S., Chougourou, D., Aboudou, K., Hedible, L., & Soumanou, M. (2019). Evaluation de la qualité de l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) de cinq itinéraires techniques de production dans la Commune d'Allada au Bénin. *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, 2(1), 48-61.

Babatounde, S., Oumourou, M., Alkoiret, I., Vidjannagni, S., & Mensah, G. A. (2011). Relative frequencies, chemical composition and in vitro organic matter digestibility of forage consumed by sheep in humid tropic of West Africa. *J. Agric. Sci. Technol. A*, 1, 39-47.

Babatounde, S., Sidi, H., Houinato, M., Oumourou, M., Mensah, G. A., Sinsin, B. A. (2011). Valeur alimentaire des fourrages consommés par les taurillons Borgou sur les parcours naturels du Centre du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5, 2382–2394. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.18>

Badarou, K. O., Sidi, H., Adehan, S. B., Adjolohoun, S., Gbego, T. I., Houndonougbo, F., Oumourou, M., & Babatounde, S. (2020). Forage grasses eaten by cattle on community rangelands in northeastern Benin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 45 (3), 7964-7978. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v45-3.2>

Badou, D. F., Yegbemey, R. N., & Hounkpè, J. (2021). Sectorial Climate Change Impacts and Adaptation in Benin. In W. Leal Filho, J. Luetz, & D. Ayala (Éds.), *Handbook of Climate Change Management*, 1-21. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22759-3_336-1

- Bahru, T., Asfaw, Z., & Demissew, S. (2014). Ethnobotanical study of forage/fodder plant species in and around the semi-arid Awash National Park, Ethiopia. *Journal of Forestry Research*, 25(2), 445-454. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0474-x>
- Baleseng, L., Madibela, O., Tsopito, C., Mareko, M., Boitumelo, W., & Letso, M. (2023). Morula Kernel Cake (*Sclerocarya birrea*) as a Protein Source in Diets of Finishing Tswana Lambs: Effects on Nutrient Digestibility, Growth, Meat Quality, and Gross Margin. *Animals*, 13(8), 1387. <https://doi.org/10.3390/ani13081387>
- Bamikole, M. A., Babayemi, O. J., Arigbede, O. M., Ikhatua, U. J. (2003). Nutritive Value of *Ficus Religiosa* in West African Dwarf Goats. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 105, 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00059-2)
- Banjoko, I. K., Ifabiyi, J. O., Komolafe, S. E., & Opeyemi, G. (2021). Goat farmers' adaptation strategies to climate change in Ilorin East Local Government Area of Kwara State, Nigeria. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 13(4), 36-45. <https://www.ajol.info/index.php/jrfwe/article/view/220571>
- Barazi, A. A., Chaibou, M., Mouctari, O. M. M., & Nouhou, M. E. (2019). Effet de la supplémentation des rations par un additif alimentaire sur la croissance pondérale et le rendement carcasse des chevreaux Roux de Maradi au Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(6), 2487-2496. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.5>. <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/192312>
- Barwani, D. K., Bacigale, S. B., Kibitok, N. K., Webala, A. W., Gicheha, M. G., Katunga, D. M., & Osuga, I. M. (2022). Nutritional characterization of eight trees and shrubs used as livestock feeds in the Eastern Democratic Republic of the Congo. *Livestock Research for Rural Development*, 34(86).
- Baumont, R. (1996). Palatability and Feeding Behaviour in Ruminants. A Review. *Ann. De Zootech.*, 45, 385–400. <https://doi.org/10.1051/animres:19960501>
- Bayala, J., Ky-Dembélé, C., Kalinganire, A., Olivier, A., & Nantoumé, H. (2014). A review of pasture and fodder production and productivity for small ruminants in the Sahel. *ICRAF occasional paper*, 21.
- Beck, M. R., & Gregorini, P. (2020). How dietary diversity enhances hedonic and eudaimonic well-being in grazing ruminants. *Frontiers in veterinary science*, 7, 191. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00191>

- Behingan, M. B., Houndonougbo, P. V., Alowanou, G. G., Koudande, D. O., & Chrysostome, A. A. M. C. (2023). Characterization and typology of goat farm production systems in Benin. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 4(1). <https://agromaroc.net/index.php/MJAS/article/view/979>
- Behingan, M. B., Mama, A., Houndonougbo, P. V., Koudande, D. O., Kakai, R. L. G., & Chrysostome, C. A. A. M. (2022). Spatial distribution of goat breeds bred in Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2), 543-554. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i2.3> . <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/227840>
- Bell, M., Eckard, R., Moate, P. J., & Yan, T. (2016). Modelling the effect of diet composition on enteric methane emissions across sheep, beef cattle and dairy cows. *Animals*, 6(9), 54. <https://doi.org/10.3390/ani6090054>
- Below, T. B., Mutabazi, K. D., Kirschke, D., Franke, C., Sieber, S., Siebert, R., Tscherning, K. (2012). Can farmers' adaptation to climate change be explained by socio-economic household-level variables? *Global Environ Change*, 22, 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.11.012>
- Ben Salem, H., Smith, T. (2008). Feeding Strategies to Increase Small Ruminant Production in Dry Environments. *Small Rumin. Res.*, 77, 174–194. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.008>
- Berihu, M., Berhane, G., & Gebrechiristos, S. (2015). Feeding and management practices of free range goat production in Tahtay Koraro district northern Ethiopia. *American Journal of Social and Management Sciences*, 6(2), 40-47.
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2000). Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management. *Ecological Applications*, 10(5), 1251-1262. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1251:ROTEKA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2)
- Beyene, T. S., Mlambo, V., Ravhuhali, K. E., Palamuleni, L. G. (2020). Effects of Soil Type on Density of Trees and Nutritive Value of Tree Leaves in Selected Communal Areas of South Africa. *South Afr. J. Anim. Sci.*, 50, 88–98. <https://doi.org/10.4314/sajas.v50i1.10>
- Bhatta, R., Enishi, O., Yabumoto, Y., Nonaka, I., Takusari, N., Higuchi, K., Tajima, K., Takenaka, A., Kurihara, M. (2013). CH₄ Reduction and Energy Partitioning in Goats Fed Two Concentrations of Tannin from Mimosa Spp. *J. Agric. Sci.*, 151, 119–128. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000299>

Bindelle, J., & Buldgen, A. (2004). Utilisation des plantes à tubercules ou à racines tubéreuses en alimentation animale. Bindelle, J., & Buldgen, A. (2004). Utilisation des plantes à tubercules ou à racines tubéreuses en alimentation animale. *Troupeaux et cultures des tropiques*, 4, 47-50.

Binuomote, R. T., Muftaudeen, N., Adekunle, C. A. (2022). Rumen Parameters Of West African Dwarf Sheep Fed *Panicum Maximum* Supplemented With Varying Levels Of *G. Arborea* Leaves. *Anim. Health J.* 3, 1–20. <https://doi.org/10.47941/ahj.991>

Birhan, M., & Adugna, T. (2014). Livestock feed resources assessment, constraints and improvement strategies in Ethiopia. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21(4), 616-622.

Blanfort, V., Assouma, M. H., Bois, B., Edouard-Rambaut, L.-A., Vayssières, J., & Vigne, M. (2022). L'efficacité pour rendre compte de la complexité des contributions des systèmes d'élevage au pâturage au changement climatique. In: Élevages au pâturage et développement durable des territoires méditerranéens et tropicaux. Ed. Quae, 86-104. <https://agritrop.cirad.fr/602957>

Blaxter, K. L. (1989). *Energy metabolism in animals and man* (Vol. 123). Cambridge University Press. https://books.google.be/books?hl=fr&lr=&id=mAw5AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Blaxter,+1989,+&ots=dJJ9kas5gk&sig=RhQTRsmC8F_IPoZICUsBS4RH58k

Blein, R., Soulé, B. G., Faivre-Dupaigre, B., & Yérima, B. (2008). Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest. *CEDEAO, Farm*. https://old.fondation-farm.org/IMG/pdf/potentialites_etude_mp.pdf

Boko, M., Amoussou, E., Totin, H., & Sedjame, R. (2014). Climate change and the availability of water resources in Benin. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14. <https://doi.org/10.5380/abclima.v14i1.38169>

Boko, M., Kosmowski, F., & Vissin, E. W. (2012). Les enjeux du changement climatique au Bénin. Konrad-Adenauer-Stiftung, Programme pour le dialogue politique en Afrique de l'Ouest. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2825.4808>

Boni, Y., Djenontin, A. J., Natta, A. K., & Saliou, A. R. A. (2019). Variabilités climatiques et dynamique des pâturages dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27(2), 599-615.

- Boni, Y., Djenontin, A. J., Natta, A. K., & Saliou, A. R. A. (2019). Vulnerability to drought plant training natural courses in central and northern Benin. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 45(1), 13-24. <http://www.ijisr-issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-19-045-10>
- Boogaard, B. K., Hendrickx, S. C., & Swaans, C. P. (2012). Characterization of smallholder goat production and marketing systems in Inhassoro District, Mozambique: Results of a baseline study. *ILRI Research Brief* 1, Nairobi, Kenya. <https://hdl.handle.net/10568/21698>
- Boukrouh, S., Noutfia, A., Moula, N., Avril, C., Hornick, J-L., Chentouf, M., Cabaraux, J-F. (2023). Effect of Sulla Flexuosa Hay as A lternative Feed Resource on Goat's Milk Production and Quality. *Animals*, 13,709. <https://doi.org/10.3390/ani13040709>
- Bueno, I., Brandi, R., Franzolin, R., Benetel, G., Fagundes, G., Abdalla, A., Louvandini, H., & Muir, J. (2015). In vitro methane production and tolerance to condensed tannins in five ruminant species. *Animal Feed Science and Technology*, 205, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.008>
- Buyinza, J., Agaba, H., Ongodia, G., Eryau, K., Sekatuba, J., Kalanzi, F., Nansereko, S. (2015). On-Farm Conservation and Use Values of Indigenous Trees Species in Uganda. *Res. J. Agric. Sci.*, 2320, 6063.
- Byaruhanga, C., Oluka, J., & Olinga, S. (2015). Socio-economic aspects of goat production in a rural agro-pastoral system of Uganda. *Universal Journal of Agricultural Research*, 3(6), 203-210. <https://doi.org/10.13189/ujar.2015.030604>
- Cacho, O. J., Moss, J., Thornton, P. K., Herrero, M., Henderson, B., Bodirsky, B. L., Humpenöder, F., Popp, A., Lipper, L. (2020). The value of climate-resilient seeds for smallholder adaptation in sub-Saharan Africa. *Climatic Change*, 162, 1213–1229. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02817-z>
- Cardoso-Gutierrez, E., Aranda-Aguirre, E., Robles-Jimenez, L. E., Castelán-Ortega, O. A., Chay-Canul, A. J., Foggi, G., Angeles-Hernandez, J. C., Vargas-Bello-Pérez, E., & González-Ronquillo, M. (2021). Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review. *Veterinary and Animal Science*, 14, 100214. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100214>

Carew, B. A. R., Mosi, A. K., Mba, A. U., & Egbunike, G. N. (1980). The potential of browse plants in the nutrition of small ruminants in the humid forest and derived savanna zones of Nigeria. *Browse Africa*, 20, 307-311.

Chaibou, M., Mouctari, O. M. M., Zeinabou, C. G., Saidou, O. (2019). Climate change effects on breeding practices and adaptation analysis options: case of the Bouza-Niger. *Env. Wat. Sci. pub.H.Ter. J.*, 131-140. <https://doi.org/10.48421/IMIST.PRSM/ewash-ti-v3i2.16934>

Challaton, K. P., Akouedegni, C. G., Alowanou, G. G., Boko, K. C., Toklo, P. M., & Hounzangbé-Adoté, M. S. (2024). Gastrointestinal anthelmintic plants used on small ruminants in Benin: Traditional use and scientific results-Review. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2024.101015>

Charmley, E., Williams, S. R. O., Moate, P. J., Hegarty, R. S., Herd, R. M., Oddy, V. H., Reyenga, P., Staunton, K. M., Anderson, A., & Hannah, M. C. (2015). A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Animal Production Science*, 56(3), 169-180. <https://doi.org/10.1071/AN15365>

Chauhan, S. S., Rashamol, V. P., Bagath, M., Sejian, V., & Dunshea, F. R. (2021). Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *International Journal of Biometeorology*, 65(7), 1231-1244. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02083-3>

Chebli, Y., El Otmani, S., Chentouf, M., Hornick, J.-L., & Cabaraux, J.-F. (2021). Temporal variations in chemical composition, in vitro digestibility, and metabolizable energy of plant species browsed by goats in southern Mediterranean forest rangeland. *Animals*, 11(5), 1441. <https://doi.org/10.3390/ani11051441>

Chebli, Y., El Otmani, S., Hornick, J.-L., Keli, A., Bindelle, J., Cabaraux, J.-F., & Chentouf, M. (2022). Forage availability and quality, and feeding behaviour of indigenous goats grazing in a Mediterranean silvopastoral system. *Ruminants*, 2(1), 74-89. <https://doi.org/10.3390/ruminants2010004>

Chedid, M., Tourrand, J.F., Jaber, L. S., Hamadeh, S. K. (2018). Farmers' perception to change and adaptation strategies of small ruminant systems in the West Bekaa of Lebanon. *Small Ruminant Research*, 167, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.025>

Chelpo, G. M., Marume, U. (2024). The effect of *Vachellia eriolaba* leaf meal inclusion on growth performance, blood parameters and methane gas emission in lamb fed diets containing

ammoniated maize stover. *Tropical Animal Health and Production*, 56:323.
<https://doi.org/10.1007/s11250-024-04149-x>

Chenyambuga, S. W., Hanotte, O., Hirbo, J., Watts, P. C., Kemp, S. J., Kifaro, G. C., Gwakisa, P. S., Petersen, P. H., & Rege, J. E. O. (2004). Genetic characterization of indigenous goats of sub-Saharan Africa using microsatellite DNA markers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(4), 445-452. <https://doi.org/10.5713/ajas.2004.445>

Chukwuka, O. K., Okoli, I. C., Okeudo, N. J., Opara, M. N., Herbert, U., Ogbuewu, I. P., & Ekenyem, B. U. (2010). Reproductive potentials of West African Dwarf sheep and goat : A review. *Research Journal of Veterinary Sciences*, 3(2), 86-100.

Ciss, M., Ndiaye, B., Diouf, M., Wane, M., Diop, M., & M, S. (2018). Morphologie et pratiques d'élevage du mouton Peul-peul du Sénégal. *International Journal of Advanced Research*, 6, 727-738. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/7089>

Cuni-Sanchez, A., Omeny, P., Pfeifer, M., Olaka, L., Mamo, M. B., Marchant, R., & Burgess, N. D. (2019). Climate change and pastoralists : Perceptions and adaptation in montane Kenya. *Climate and Development*, 11(6), 513-524. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1454880>

D. S. A (Direction de la Statistique Agricole). (2021). Les chiffres de la campagne agricole 2021-2022 et les previsions de la campagne agricole 2022-2023. <https://apisgm.agriculture.gouv.bj/public/storage/uploads/P8N1xl81hCzqWlxaRqg4cNVvboB CB8AtGXvGzyA.pdf>

D. S. A (Direction de la Statistique Agricole). (2024a). Les chiffres définitifs de la campagne agricole 2023-2024 au Bénin. MAEP. Cotonou, Bénin. <https://apidsa.agriculture.gouv.bj/public/storage/uploads/xQgRcP3VLDNIRIW/CgEJFHtx5U68 iCG4QYOILEwDo.xls>

D. S. A (Direction de la Statistique Agricole). (2024b). Indicateurs macro économiques du secteur agricole 2023. MAEP. Cotonou, Bénin. <https://apidsa.agriculture.gouv.bj/public/storage/uploads/XxrWuVRLBFNtixCfYwoNuOxW0cjq ZxTuTB29Owgc.pdf>

Daga, F. D., Toleba, S. S., Adenile, A. D., Souradjou, T. M., & Babatounde, S. (2008). Effet d'une alimentation à base d'épluchures et de feuilles de manioc sur les performances zootechniques et économiques du lapin. *Annales Des Sciences Agronomiques*, 10(2), 153-163. <https://doi.org/10.4314/asab.v10i2.42694>

- Dagnew, Y., Urge, M., Tadesse, Y., Gizaw, S. (2017). Sheep Production and Breeding Systems in North Western Lowlands of Amhara Region, Ethiopia: Implication for Conservation and Improvement of Gumz Sheep Breed. *OJAS*, 7, 179-197. <https://doi.org/10.4236/ojas.2017.72015>
- Dahouda, M., Amoussa, S., Dossa, L. H., Kiki, P. S., & Houessou, O. S. (2019). Les stratégies d'utilisation des ressources alimentaires locales par les caprins dans quatre communes du Bénin. *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, 2(2), 23-33
- Dahouda, M., Gbenou, B., Adjolohoun, S., Kiki, P., Seibou Toleba, S., Abdou Karim, Y. (2019). Contraintes et difficultés de l'élevage de porcs dans les départements de l'Ouémé et du Plateau au Sud-EST-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*. 61-73
- De Haas, Y., Windig, J. J., Calus, M. P. L., Dijkstra, J., De Haan, M., Bannink, A., & Veerkamp, R. F. (2011). Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of dairy science*, 94(12), 6122-6134. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4439>
- Dean, J. F., Middelburg, J. J., Röckmann, T., Aerts, R., Blauw, L. G., Egger, M., Jetten, M. S. M., De Jong, A. E. E., Meisel, O. H., Rasigraf, O., Slomp, C. P., In'T Zandt, M. H., & Dolman, A. J. (2018). Methane Feedbacks to the Global Climate System in a Warmer World. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 207-250. <https://doi.org/10.1002/2017RG000559>
- Deffo, V., Ottou, J. F. B., Messiné, O., Achundoh, L. E., & Djoumessi, M. (2009). Facteurs socio-économiques affectant l'utilisation des sous-produits agro-industriels pour l'embouche bovine à contre-saison dans l'Adamaoua, Cameroun. *BASE*. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=4270>
- Demeyer, D. I. (1991). In: Jouany, J. P., Ed.: Quantitative aspects of microbial metabolism in the rumen and hindgut. *Rumen microbial metabolism and ruminant digestion*. Editions INRA, Paris. 217-237. <https://doi.org/10.4236/ojas.2016.64035>
- Denman, S. E., Tomkins, N. W., & McSweeney, C. S. (2007). Quantitation and diversity analysis of ruminal methanogenic populations in response to the antimethanogenic compound bromochloromethane. *FEMS microbiology ecology*, 62(3), 313-322. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00394.x>

- Devendra, C., & Leng, R. (2011). Feed Resources for Animals in Asia: Issues, Strategies for Use, Intensification and Integration for Increased Productivity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(3), 303-321. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.r.05>
- Diallo, M. A., Barry, M. B., Wibigue, A. G. (2021). Impact des changements climatiques sur le rendement laitier des petits ruminants au Sénégal. *Agronomie Africaine*, 33 (3), 273-282.
- Dimon, E., Idrissou, Y., Soulé, A. H., Assa, S. A., Assani, S. A., Assogba, B. C. G., Toukourou, Y., Atta, E. Y., Mensah, G. A., & Toukourou, E. Y. (2018). Synthèse des connaissances sur la valorisation des légumineuses fourragères dans l'alimentation des ruminants élevés au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 84, 43-51
- Dimon, E., Toukourou, Y., Assani, A. S., Baco, M. N., Worogo, H. S., Idrissou, Y. (2022). Typologie des stratégies d'adaptation des éleveuses de petits ruminants au nord du Bénin face au changement climatique. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vet.*, 10 (2), 265-271. https://agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1168
- Dimon, E., Toukourou, Y., Orou, R., Yabi, A. J., & Traore, I. A. (2022). Stratégies d'adaptation des éleveuses de petits ruminants du Bénin face au changement climatique : Influence sur les paramètres démographiques. *Journal of Applied Biosciences*, 177, 18401-18412. https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2023/04/5.Dimon_.pdf
- Dimon, E., Toukourou, Y., Seidou, A. A., Worogo, H. S., Soule, A. H., & Traore, I. A. (2020). Performances zoo-économiques des ovins Djallonké complémentés avec la feuille de Moringa oleifera au Centre du Bénin. *Afrique Science*, 16(5), 189-202.
- Dindané-Ouédraogo, S., Ouédraogo-Koné, S., Ouédraogo, D., Ima, I., Zoma-Traoré, B., & Soudre, A. (2021). Effects of feeding ration incorporating *Piliostigma thonningii* (schum.) pods on growth and gastrointestinal parasites in West African Dwarf goats of Burkina Faso. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 6(1). <https://doi.org/10.22161/ijeab.61.20>
- Diogo, R. V. C., Adedigba, S., Djedje, M., Dossa, L. H. (2018). Gestion et contribution des résidus de récolte à la réduction du déficit alimentaire des élevages traditionnels de petits ruminants dans la zone soudanienne du Nord Bénin. *Ann. UP, Sci. Nt. Agron*, 8(1), 1-12.
- Dione, A., Bathily, A., Ngom, S., Sarr, O., Diarra, A. R., Ngom, D., & Guissé, A. (2022). Caractérisation bromatologique et nutritive des ligneux fourragers dans la zone agro-pastorale

de Ngouye au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 177, 18471-18498.
https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2023/04/10.Dione_.pdf

Dione, A., Sarr, O., Ngom, S., Diallo, A., & Guissé, A. (2020). Perceptions pastorales des ligneux fourragers par les agropasteurs et les transhumants au centre du Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(3), 772-787.
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i3.11>

Djenontin, J. (2010). Dynamique des stratégies et des pratiques d'utilisation des parcours naturels pour l'alimentation des troupeaux bovins au Nord-Est du Bénin .Thèse de doctorat , Université de Abomey-Calavi. 275p. <https://theses.hal.science/tel-00595277/>

Djenontin, J., Senou, M., Salifou, C. F. A., Ahounou, G. S., Issifou, T. M., & Youssao, A. K. I. (2017). Influence du type génétique sur la composition corporelle et la qualité de la viande des ovins élevés dans les systèmes d'élevage traditionnels. *Archivos de zootechnia*, 66(256), 523-533. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49553571008.pdf>

Djihouessi, M. B., Degan, A., Sossou, M., Sossa, F., Adanguidi, J., & Aina, M. P. (2022). Inventory of agroecosystem services and perceptions of potential implications due to climate change: A case study from Benin in West Africa. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106792. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106792>

Djohy, G. L., Sounon Bouko, B., Dossou, J. P., Boni, Y., & Yabi, J. A. (2022). Productivité des pâturages naturels et pratiques de mobilité pastorale dans un contexte de changements climatiques en Afrique de l'Ouest. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 10(1), Article 1.
https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1077

Djohy, G. L., Sounon Bouko, B., Dossou, J. P., Boni, Y., & Yabi, J. A. (2022). Perception et adaptation des éleveurs de bovins aux changements climatiques dans le bassin de l'Ouémé Supérieur au Bénin Perception et adaptation des éleveurs. *Tropicultura*.
<https://doi.org/10.25518/2295-8010.2135>

Djohy, G. L., Bouko, B. S., Dossou, P. J., Afouda, J. A. (2021). Perception des changements climatiques par les éleveurs de bovins et observations météorologiques dans le bassin de l'Ouémé supérieur au Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 74(3), 145-152. <https://doi.org/10.19182/remvt.36761>

Djohy, G. L., Bouko, B. S., Idrissou, Y., Saliou, R., Boni, Y., & Natta, A. (2022). Productivité des pâturages naturels dans le bassin de l'Ouémé Supérieur au Bénin dans un contexte de changements climatiques. *Livestock Research for Rural Development*, 34, 9.

Djohy, G., Bouko, B., Dossou, P., & Yabi, J. (2021). Relations between herders and farmers in a context of climate change in the Upper Oueme Basin in Benin: Between cooperation and conflict. *Agronomie Africaine*, 33 (2), 161-176.

Dokui, F., Chrysostome, C. A., Babatoude, S., & Houndonougbo, F. M. (2023). Contribution of feed supplementation to zootechnic performance of African dwarf sheep in West Africa: A review. *Aceh Journal of Animal Science*, 8(3), 108-114.
<https://doi.org/10.13170/ajas.8.3.31435>.
<https://jurnal.usk.ac.id/AJAS/article/download/31435/pdf>

Dokui, F., Chrysostome, C. A., Babatoude, S., & Houndonougbo, F. M. (2023). Contribution of feed supplementation to zootechnic performance of African dwarf sheep in West Africa: A review. *Aceh Journal of Animal Science*, 8(3), 108-114.
<https://doi.org/10.13170/ajas.8.3.31435>.
<https://jurnal.usk.ac.id/AJAS/article/download/31435/pdf>

Dokui, F., Chrysostome, C. A., Babatoude, S., & Houndonougbo, F. M. (2023). Contribution of feed supplementation to zootechnic performance of African dwarf sheep in West Africa: A review. *Aceh Journal of Animal Science*, 8(3), 108-114.
<https://doi.org/10.13170/ajas.8.3.31435>.
<https://jurnal.usk.ac.id/AJAS/article/download/31435/pdf>

Doreau, M., Benhissi, 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 in a Sahelian pastoral area. *Animal Production Science*, 56(3), 613-618.
<https://doi.org/10.1071/AN15487>

Doreau, M., Martin, C., & Morgavi, D. (2017). Réduire les émissions de méthane entérique par l'alimentation des ruminants. *Viandes et produits carnés*, 33, 2-7. <https://hal.inrae.fr/hal-02620071>

Doreau, M., Martin, C., & Morgavi, D. P. (2017). Examen des différentes techniques visant à limiter l'impact des émissions de méthane des ruminants par l'alimentation animale. *Viandes & Produits Carnés*, 1.

- Doreau, M., Martin, C., Eugène, M., Popova, M., & Morgavi, D. P. (2011). Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. *INRAE Productions Animales*, 24(5), 461-474. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.5.3278>
- Dossa, L. H., Abdulkadir, A., Amadou, H., Sangaré, S., Schlecht, E. (2011). Exploring the diversity of urban and peri-urban agricultural systems in Sudano-Sahelian West Africa: An attempt towards a regional typology. *Landscape and Urban Planning*, 102, 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.04.005>
- Dossa, L. H., Rischkowsky, B., Birner, R., & Wollny, C. (2008). Socio-economic determinants of keeping goats and sheep by rural people in southern Benin. *Agriculture and Human Values*, 25(4), 581-592. <https://doi.org/10.1007/s10460-008-9138-9>
- Dossa, L. H., Sangaré, M., Buerkert, A., & Schlecht, E. (2015). Production objectives and breeding practices of urban goat and sheep keepers in West Africa: Regional analysis and implications for the development of supportive breeding programs. *SpringerPlus*, 4(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1075-7>
- Dossa, L. H., Sangaré, M., Buerkert, A., & Schlecht, E. (2015). Production objectives and breeding practices of urban goat and sheep keepers in West Africa: Regional analysis and implications for the development of supportive breeding programs. *SpringerPlus*, 4(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1075-7>
- Dosseh, H. K., Ahozonlin, M. C., & Dossa, L. H. (2021). Comparison of some zootechnical performances of local and Red Maradi goats reared under smallholder production systems in the Sudanian zone of Benin. *Veterinary and Animal Science*, 14, 100210. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100210>
- Dossoumou, N. I. P., Gnazou, M. D. T., Vilamor, G. B., Agbossou, E. K., Thiam, S., Wagner, S., Idrissou, M. (2023). Comparing household's perception of flood hazard with historical climate and hydrological data in the Lower Mono River catchment (West Africa), Benin and Togo. *PLOS Clim*, 2(4), e0000123. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000123>
- Doutressoulle, G. (1947). *Elevage en Afrique occidentale française*. Paris, Larose, 298p
- Edoh, J. H., Houndonougbo, F. M., Kouato, O. G., Kindomihou, V., Babatoundé, S., Chrysostome, C. A. A. M. (2023). Typology of goat feeding systems in Benin. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 4(2), 93-101. <https://agromaroc.net/index.php/MJAS/article/view/997>

Ehouinsou, M., Mensah, G. A., Houinato, M., Olaafa, M., Lawani, M. O. A., Pomalegni, S. C. B. (2007). Fiche technique : Valoriser les épluchures de manioc dans l'alimentation des petits ruminants et des aulacodes d'élevage. *Institut National des Recherches Agricoles du Bénin*, 8p.

Ejlertsen, M., Poole, J., & Marshall, K. (2012). Traditional breeding objectives and practices of goat, sheep and cattle smallholders in The Gambia and implications in relation to the design of breeding interventions. *Tropical Animal Health and Production*, 45(1), 219-229. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0194-1>

EL Koudrim, M. (2021). Contribution à la gestion de l'intégration de l'agriculture et l'élevage en milieu aride et semi-aride sous le système d'agriculture de conservation. Thèse de doctorat, Université Hassan 1^{er}, 219p. <https://toubkal.imist.ma/handle/123456789/25258>

Eugène, M., Klumpp, K., & Sauvant, D. (2021). Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass and Forage Science*, 76(2), 196-204. <https://doi.org/10.1111/gfs.12540>

Eugène, M., Mansard, L., Vigan, A., Meuret, M., Lasseur, J., Benoit, M., & Lecomte, P. (2015). Modèle d'estimation des émissions de méthane entérique prenant en compte la diversité des ressources alimentaires et la gestion du système (DREEM) : Étude de cas du pastoralisme dans le Sud de la France. FAO, CIHEAM: *Meeting Sub Network on Sheep and Goat Nutrition*, 5 p. hal-02743497f

Eugène, M., Martin, C., Mialon, M.-M., Krauss, D., Renand, G., & Doreau, M. (2008). Réduction des émissions de méthane en début d'engraissement chez le taurillon alimenté avec des rations riches en concentrés et supplémentées en graine de lin. *J. Anim. Sci.*, 88, 331-334.

Eyoh, G. D., Ekpo, J. S., Sam, I. M., & Ukpanah, U. A. (2019). Effect of replacing brewer's spent grain with cassava peel meal on carcass and economy of West African dwarf bucks fed *Panicum maximum* basal diet. *Nigerian Journal of Animal Science*, 21(2), 149-154. <https://www.ajol.info/index.php/tjas/article/view/187899>

Fadiyimu, A. A., Fajemisin, A. N., Alokun, J. A. (2011). Chemical Composition of Selected Browse Plants and Their Acceptability by West African Dwarf Sheep. *Livest. Res. Rural Dev*, 23, 256.

Falay, M. S., Nsomue, A. N., Nkangu, Y., Kamada, P. K., Omari, A. M., Micha, J-C. (2022). Etude sur la richesse biologique ichthyenne du Parc National de la Lomani, en République Démocratique du Congo. *Afrique Science*, 20(2), 78-89.

Fantahun, T., Alemayehu, K., Abegaz, S. (2017). Characterization of goat production systems and trait preferences of goat keepers in Bench Maji zone, South western Ethiopia. *AJAR*, Vol, 11(30), 2768-2774. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10170>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2016). Agriculture in Sub-Saharan Africa: prospects and challenges for the next decade. OECD-FAO, Agricultural Outlook 2016-2025, Paris, 59-95

F A O (2024):AFrique; aperçu régional de la sécurité alimentaire et de la nutrition 2023: Statistiques et tendances. <https://doi.org/10.4060/CC8743EN-fig01>. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/FS>

F A O. (2023). Methane emissions in livestock and rice systems: Sources, quantification, mitigation and metrics. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc7607en>

FAOSTAT. (2022). Statistical database. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data> (Consulté le 25 Novembre 2024)

FAOSTAT. (2024). Statistical database. https://www.fao.org/faostat/en/#collapse_Q (Consulté le 5 Novembre 2024)

Fasae, O. A., & Yusuf, A. O. (2022). Cassava leaves and peels: Nutritional value and potential productivity in West African dwarf breeds of sheep and goats—A review. *Nigerian Journal of Animal Production*, 49(3), 301-311. <https://doi.org/10.51791/njap.v49i3.3562>

Feleke, F. B., Berhe, M., Hoag, D. (2016). Determinants of adaptation choices to climate change by sheep and goat farmers in Northern Ethiopia: the case of Southern and Central Tigray, Ethiopia. *Springer Plus*, 5, 1692. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3042-3>

Fernand, T., Arnaud, H., Noubissi, M., Miégoué, E., Camara, S., Matumuini Ndzani Essié, F., Mboko, A., Tovignon, G., Nde, A., Tedonkeng, E., & Vargas-Bello-Pérez, E. (2021). Perceptions and adaptation strategies for climate change from small ruminant farmers in north-west Cameroon. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3475>

Fernand, T., Pamo, T., Boukila, B., Henry, D., Njiki, E., Miégoué, E., Fogang, Z., & Jules, L. (2013). Socio-economic and technical characteristics of small ruminant rearing in south region of Cameroon: Case of Mvila Division. *Livestock Research for Rural Development*, 25.

- Fomum, S. W., Scogings, P. F., Dziba, L., & Nsahlai, I. V. (2015). Seasonal variations in diet selection of Nguni goats: Effects of physical and chemical traits of browse. *African Journal of Range & Forage Science*, 32(3), 193–201. <https://doi.org/10.2989/10220119.2014.951072>
- Frédéric, S. (2019). Adaptation aux risques naturels et incertitudes climatiques en milieu soudano-sahélien au Cameroun. *NAAJ, Revue africaine sur les changements climatiques et les énergies renouvelables*, 1(1), 157-173. <https://doi.org/10.46711/naaj.2019.1.1.8>.
- Gado, B. O. K., Imorou, I. T., Arouna, O., & Oumorou, M. (2020). Caractérisation des parcours de transhumance à la périphérie de la réserve de biosphère transfrontalière du W au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(2), 333-352. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i2.3>
- Gaughan, J., Cawdell-Smith, A. J. (2015). Impact of climate change on livestock production and reproduction. In: *Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L., Prasad, C. (eds), Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer, New Delhi, 51-60. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_4
- Gbangboché, A. B. (2005). *Performances zootechniques et paramètres génétiques des ovins Djallonké au Bénin*. Thèse de doctorat, Université de Liège (Belgique). 178p
- Gbemavo, C. D. S. J., Tchakpa, J. T. C., Loko, Y. L. E., Djedatin, G., Ewedje, E., Orobiyi, A., Sedah, P. (2021). Rice farmer's perceptions and response to climate variability, and determinants of adaptation strategies in the Republic of Benin. *IJCCSM*, 14,4, 332-352. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-06-2021-0059>
- Gbenou, G. X., Assouma, M. H., Zampaligre, N., Martin, C., Bastianelli, D., Bonnal, L., Kiendrebeogo, T., Sib, O., Bois, B., & Sanogo, S. (2024). Mesurer, prédire et réduire les émissions de méthane entérique en Afrique subsaharienne. *INRAE Productions Animales*, 37(1), 7648. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2024.37.1.7648>
- Gbenou, GX., Assouma, M. H., Bastianelli, D., Kiendrebeogo, T., Bonnal, L., Zampaligre, N., Bois, B., Sanogo, S., Sib, O., Martin, C., & Dossa, L. H. (2024b). Supplementing zebu cattle with crop co-products helps to reduce enteric emissions in West Africa. *Archives of Animal Nutrition*, 78:2, 125-141. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2024.2356326>
- Gboshe, P. N., & Ukorebi, B. A. (2020). Performance and carcass characteristics of West African Dwarf Goats fed cassava peel meal partially replaced with Sugar cane peel meal.

Animal and Veterinary Science (Special Issue: Promoting Animal and Veterinary Science Research), 8(1), 36-40. <https://doi.org/10.11648/j.av.s.20200801.15>

Gedefaw, M., Girma, A., Denghua, Y., Hao, W., & Agitew, G. (2018). Farmer's perceptions and adaptation strategies to climate change, its determinants and impacts in ethiopia: Evidence from Qwara district. *J Earth Sci Clim Change*, 9(481). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000481>

Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., & Firkins, J. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: A review. *animal*, 7(s2), 220-234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>

Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2014). Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage—Une évaluation des émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. *FAO, Rome*, 148p. <http://mara-grassroots-movement.org/wp-content/uploads/2022/02/FAO-Fr.pdf>

Gerrits, W., & Labussière, E. (Éds.). (2015). *Indirect calorimetry: Techniques, computations and applications*. Brill | Wageningen Academic. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-809-4>

Giamouri, E., Zisis, F., Mitsiopolou, C., Christodoulou, C., Pappas, A. C., Simitzis, P. E., Kamilaris, C., Galliou, F., Manios, T., & Mavrommatis, A. (2023). Sustainable strategies for greenhouse gas emission reduction in small ruminants farming. *Sustainability*, 15(5), 4118. <https://doi.org/10.3390/su15054118>

Gilbert, T., Tchobsala, & Adamou, I. (2023). Quantitative ethnobotany and vulnerability of woody plant species in Nyé'éte forest, South Region of Cameroon. *Ethnobotany Research and Applications*, 26, 1-14. <https://doi.org/10.32859/era.26.28.1-14>

Gninkplékpo, E. L. R., Koura, B. I., Lesse, P., Toko, I., Demblon, D., Houinato, M. R. B., & Cabaraux, J.-F. (2024). Small ruminant farmers' feeding strategies to cope with climate change across five agroecological zones of Benin, West Africa. *Heliyon*, 10(21). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39834>

Gninkplékpo, E. L., Koura, B. I., Lesse, P. D., Yaoïtcha, A., Accalogoun, J., Hornick, J.-L., Cabaraux, J.-F., & Houinato, M. R. (2024). Forage Preference, Voluntary Intake, and In Vivo

Digestibility of Six Tropical Tree Leaves by Sheep in Semi-Arid Areas in Benin Republic (West Africa). *Sustainability*, 16(6), 2270. <https://doi.org/10.3390/su16062270>

Goel, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2008). Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials. *Journal of applied microbiology*, 105(3), 770-777. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03818.x>

Gouro et al., B. R. P. L. (2014). Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest: état des lieux et perspectives pour l'élevage. *FAO*, Rome, 73p. <https://www.fao.org/4/i3562f/i3562f.pdf>

Guerin, G., & Gautier, D. (2004). Gérer une diversité de végétation. Le cas des systèmes pastoraux méditerranéens. *Fourrages*, 178, 233-243.

Guglielmelli, A., Calabro, S., Primi, R., Carone, F., Cutrignelli, M. I., Tudisco, R., Piccolo, G., Ronchi, B., & Danieli, P. P. (2011). In vitro fermentation patterns and methane production of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) hay with different condensed tannin contents. *Grass and Forage Science*, 66(4), 488-500. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00805.x>

Guingouain, C. H. G. L. N. (2017). L'élevage des petits ruminants en milieu paysan dans les régions de la Kara et des Savanes au Togo: Diagnostic technico-économique. Thèse de doctorat, Ecole nationale vétérinaire, Maisons-Alfort, France, 209 p.

Hamilton, T. R. D. S., Mendes, C. M., Castro, L. S. D., Assis, P. M. D., Siqueira, A. F. P., Delgado, J. D. C., Goissis, M. D., Muñoz-Blanco, T., Cebrián-Pérez, J. A., Nichi, M. (2016). Evaluation of lasting effects of heat stress on sperm profile and oxidative status of ram semen and epididymal sperm. *Oxid. Med. Cell. Longev.* <https://doi.org/10.1155/2016/1687657>

Hammond, K. J., Burke, J., Koolgaard, J., Muetzel, S., Pinares-Patiño, C., & Waghorn, G. C. (2013). Effects of feed intake on enteric methane emissions from sheep fed fresh white clover (*Trifolium repens*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) forages. *Animal Feed Science and Technology*, 179, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.11.004>

Hammond, K. J., Crompton, L. A., Bannink, A., Dijkstra, J., Yáñez-Ruiz, D. R., O'Kiely, P., Kebreab, E., Eugène, M. A., Yu, Z., & Shingfield, K. J. (2016). Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 13-30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.018>

- Hanovice-Ziony, M., Gollop, N., Landau, S. Y., Ungar, E. D., Muklada, H., Glasser, T. A., Perevolotsky, A., Walker, J. W. (2010). No Major Role for Binding by Salivary Proteins as a Defense Against Dietary Tannins in Mediterranean Goats. *J. Chem. Ecol.*, 36, 736–743. <https://doi.org/10.1007/s10886-010-9809-z>
- Hansen, P. J. (2011). Heat stress and climate change. In book: *Comprehensive Biotechnology*, 2nd ed., Volume 4, 477–485. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00237-8>
- Hassan, T. M., Ahmed-Farid, O. A., Abdel-Fattah, F. A. (2020). Effects of Different Sources and Levels of Tannins on Live Performance and Antioxidant Response of Ossimi Lambs. *J. Agric. Sci.*, 158, 339–348. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000684>
- Hegarty, R. S., Herd, R. M., Goopy, J. P., McCorkell, B., & Arthur, P. F. (2005). Selection for residual feed intake can change methane production by feedlot steers. In *Application of New Genetic Technologies to Animal Breeding*, 334–338. <https://doi.org/10.1071/9780643093003104.334.337.2005.104>
- Henry, B. K., Eckard, R. J., & Beauchemin, K. A. (2018). Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. *Animal*, 12(s2), s445-s456. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001301>
- Herrero, M., Wiersenius, S., Henderson, B., Rigolot, C., Thornton, P., Havlik, P., de Boer, I., Gerber, P. (2015). Livestock and the environment: what have we learned in the past decade? *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 40, 177–202. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031113-093503>
- Heubes, J., Kühn, I., König, K., Wittig, R., Zizka, G., & Hahn, K. (2011). Modelling biome shifts and tree cover change for 2050 in West Africa: Biome shifts and tree cover change in West Africa. *Journal of Biogeography*, 38(12), 2248–2258. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02560.x>
- Holou, R., & Sinsin, B. (2009). Embroussaillement des paturages artificiels et naturels exploites par les bovins en zone guineenne au Benin. *Annales des Sciences Agronomiques*, 3. <https://doi.org/10.4314/asab.v3i1.43387>
- Honvou, S. H. S., Aboh, A. B., Oscar, T., Sewade, C., Gandonou, B. C., Oumorou, M., Sinsin, B. (2022). Modélisation de La Dynamique de l'occupation Du Sol Des Parcours Des Transhumants Dans La Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé (Bénin). *Sci. Technol. Sustainable Agric.*, 2, 18–29.

- Hoover, W. H., & Miller, T. K. (1991). Rumen digestive physiology and microbial ecology. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 7(2), 311-325. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30801-X](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30801-X)
- Horton, J., Macve, R., Struyven, G. (2004). Qualitative research: experiences in using semi-structured interviews. In *The real life guide to accounting research*, Amsterdam, Elsevier, 339-357. <https://doi.org/10.1016/B978-008043972-3/50022-0>
- Horwitz, W. (2002). Official Methods of Analysis of AOAC, 17th ed. Current through Revision. AOAC International, Gaithersburg: Rockville, MD, USA, 2002.
- Houessou, S. O., Vanvanhossou, S. F. U., Yassegoungbe, F. P., Adenile, A. D., Dahouda, M., Guimaraes, V. P., & Dossa, L. H. (2021). A typological characterization of rural goat production systems of Benin prior to their sustainability assessment. *Archivos de zootecnia*, 70 (271), 318-330. <https://doi.org/10.21071/az.v70i271.5514>. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8319204>
- Houndjo, D. B. M., Adjolohoun, S., Gbenou, B., Saidou, A., Ahoton, L., Houinato, M., Toleba, S. S., & Sinsin, B. A. (2018). Socio-demographic and economic characteristics, crop-livestock production systems and issues for rearing improvement: A review. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 519-541. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.41>
- Hounnou, F. E. (2020). Economic analysis of the effects of climate change on agricultural productivity, economic growth and household welfare in Benin. Thèse de doctorat, Université d'Abomey- Calavi. 187p.
- Hountondji, Y.-C., De Longueville, F., & Ozer, P. (2011). Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. *1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/96112>
- Hristov, A. N., Degaetano, A. T., Rotz, C. A., Hoberg, E., Skinner, R. H., Felix, T., Li, H., Patterson, P. H., Roth, G., Hall, M. (2017). Climate change effects on livestock in the northeast us and strategies for adaptation. *Clim. Chang.*, 33–45. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2023-z>
- Hristov, A. N., Ivan, M., Neill, L., & McAllister, T. A. (2003). Evaluation of several potential bioactive agents for reducing protozoal activity in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 105(1-4), 163-184. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00060-9)

- Hristov, A. N., Melgar, A., Wasson, D., & Arndt, C. (2022). Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 105(10), 8543-8557. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21398>
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., Branco, A. F., Moate, P. J., Deighton, M. H., Williams, S. R. O., Kindermann, M., & Duval, S. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663-10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T., Weeks, H., Zimmerman, P. R., Harper, M. T., Hristova, R. A., Zimmerman, R. S., & Branco, A. F. (2015). The use of an automated system (GreenFeed) to monitor enteric methane and carbon dioxide emissions from ruminant animals. *Journal of visualized experiments: JoVE*, 103, 52904. <https://doi.org/10.3791/52904>. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4692587/>
- Huhtanen, P., Ramin, M., & Hristov, A. N. (2019). Enteric methane emission can be reliably measured by the GreenFeed monitoring unit. *Livestock science*, 222, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.017>
- I. P. C. C (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Summary for policymakers Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 1-32
- I. P. C. C (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Idan, F., Adogla-Bessa, T., Amaning-Kwarteng, K. (2020). Preference, Voluntary Feed Intake, and Digestibility of Sheep Fed Untreated Rice Straw and Supplemented with Sole or Combined Fodder Tree Leaves. *Eur. J. Agric. Food Sci.*, 1-8. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2020.2.4.89>
- Idrissou, Y., Assani Seidou, A., Tossou, F. M., Sanni Worogo, H. S., Baco, M. N., Adjassin, J. S., Assogba, B. G. C., & Alkoiret Traore, I. (2020). Perception du changement climatique par les éleveurs de bovins des zones tropicales sèche et subhumide du Bénin : Comparaison avec les données météorologiques. *Cahiers Agricultures*, 29, 1. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019032>

- Idrissou, Y., Assani, A. S., Baco, M. N., Yabi, A. J., & Traoré, I. A. (2020). Adaptation strategies of cattle farmers in the dry and sub-humid tropical zones of Benin in the context of climate change. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04373>
- Idrissou, Y., Assani, A. S., Toukourou, Y., Worogo, H. S. S., Assogba, B. G. C., Azalou, M., Adjassin, J. S., Alabi, C. D. A., Yabi, J. A., & Alkoiret, I. T. (2019). Systèmes d'élevage pastoraux et changement climatique en Afrique de l'Ouest : Etat des lieux et perspectives. *Livestock Research for Rural Development*, 31(8), 1-20.
- Idrissou, Y., Korir, D., Seidou, A. A., Worogo, H. S. S., Baco, M. N., & Traoré, I. A. (2023). Adapting cattle farming to climate change in the dry and sub-humid tropical zones in Benin: How adaptation strategies affect productivity. *Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux*, 76, 1-10. <https://doi.org/10.19182/remvt.37118>
- Idrissou, Y., Seidou, Y. M. S., Seidou, A. A., Worogo, H. S. S., Assogba, B. G. C., Traoré, I. A., & Houinato, M. (2020). Influence du pâturage et du gradient climatique sur la diversité floristique et la productivité des parcours naturels au Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 73(3). <https://doi.org/10.19182/remvt.31894>
- Idrissou, Y., Worogo, H. S. S., Assani, A. S., Ayena, J. A., Assogba, B. G. C., & Traoré, I. A. (2020). Cottonseed cake replacement by soybean pulp in the diet of West African Dwarf lambs in Benin: Zootechnical and economic performances. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 73(2), 107-111. <https://doi.org/10.19182/remvt.31875>
- Ifeanyichukwu, U. S., Ezeano, C. I., Anozie, R. (2018). Climate change and Adaptation Coping Strategies among Sheep and Goat Farmers in Ivo Local Government Area of Ebonyi State, Nigeria. *Sustainability Agri Food and Environmental Research*, 6(2), 50-68.
- Ikusika, O. O., Mako, A. A., Mpendulo, T. (2023). Effects Of Different Processing Methods On Nutrient Contents And Acceptability Of Hog Plum (*Spondias Mombin* Linn.) Leaf By West African Dwarf Sheep. *Online J. Anim. Feed Res.*, 13, 46–54. <https://dx.doi.org/10.51227/ojafr.2023.8>
- Ikwuegbu, O. A., & Sutton, J. D. (1982). The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on rumen metabolism in sheep. *British Journal of Nutrition*, 48(2), 365-375. <https://doi.org/10.1079/BJN19820120>

- Imenger, H. M. (2023). Nutrient Digestibility On West African Dwarf Bucks Fed Mango And G. Leaves In Ficus Based Diets. *ScienceOpen*, preprints. <https://doi.org/10.14293/PR2199.000408.v1>
- Imorou, H. S., Babatounde, S., Imorou, F. S., Mensah, A. (2016). Ligneux fourragers des parcours naturels communautaires du Nord-Bénin: Prédiction de la valeur nutritive au moyen de plusieurs approches analytiques. *J. Anim. Plant Sci.*, 29, 4537–4552.
- Isaac, B. O., Egigba, G. O., Ekhaton, U. N., & Bamikole, M. A. (2022). Nutritive value of some crop residues and agricultural by-products at Aduwawa cattle market, Benin City, Nigeria. *Tropical Journal Of Engineering, Science And Technology*, 1(2), 105-117. <https://tjest.org.ng/index.php/journal/article/view/91>
- Iwaka, C., Azando, E. V., Tchétan, E., Assani, A. S., Olounladé, A. P., Hounzangbé-Adoté, M. S. (2022). Propriétés biologiques et pharmacologiques de *Kigelia africana* (Lam.) Benth en médecine traditionnelle humaine et vétérinaire. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 10(4), 567-579.
- Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H. P., & Becker, K. (2015). Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.002>
- Jha, C. K., Gupta, V. (2021) Farmer's perception and factors determining the adaptation decisions to cope with climate change: An evidence from rural India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10, 100112. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100112>
- Jimoh, M. Y., Bikam, P., & Chikoore, H. (2021). The influence of socioeconomic factors on households' vulnerability to climate change in semiarid towns of Mopani, South Africa. *Climate*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/cli9010013>
- Jiwuba, P. C., Jiwuba, L. C., Ogbuwu, I. P., & Mbajorgu, C. A. (2021). Enhancement values of cassava by-product diets on production and haemato-biochemical indices of sheep and goats: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 207. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02656-9>
- Jiwuba, P. C., Njoku, C., Azodo, N. L., & Akazue, R. C. (2021). Nutrient intake, body weight changes, apparent nutrient digestibility and nitrogen utilisation of West African Dwarf goats fed four phyto-genic browse plant parts in their diets. *Nigerian Journal of Animal Science*, 23(2), 257-268. <https://www.ajol.info/index.php/tjas/article/view/219060>

- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Jouany, J. P., Broudiscou, L., Prins, R. A., & Komisarczuk-Bony, S. (1994). Métabolisme et nutrition de la population microbienne du rumen. *nutrition des ruminants domestiques: ingestion et digestion*. INRA Editions, Paris, France, 349-382. hal-02850443
- Jouany, J.-P. (2008). Enteric methane production by ruminants and its control. In *Gut efficiency; the key ingredient in ruminant production*. Wageningen Academic, 35-59. https://doi.org/10.392/9789086866403_004
- Jouany, J.-P., & Morgavi, D. P. (2007). Use of 'natural' products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. *Animal*, 1(10), 1443-1466. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000742>
- Jouany, J.-P., & Thivend, P. (2008). La production de méthane d'origine digestive chez les ruminants et son impact sur le réchauffement climatique. *Management & Avenir*, 20(6), 259-274. <https://doi.org/10.3917/mav.020.0259>
- Joy, A., Dunshea, F. R., Leury, B. J., Clarke, I. J., DiGiacomo, K., & Chauhan, S. S. (2020). Resilience of Small Ruminants to Climate Change and Increased Environmental Temperature: A Review. *Animals*, 10(5), 867. <https://doi.org/10.3390/ani10050867>
- Kabore, P. N., Barbier, B., Ouba, P., Kiema, A., Some, L., Ouedraogo, A. (2019). Farmers' perceptions of climate change, environmental impacts and endogenous adaptive strategies in the North Central of Burkina-Faso. *Vertigo*, 19(1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.24637>
- Kaboré-Zoungrana, C., Diarra, B., Adandedjan, C., Savadogo, S. (2008). Valeur Nutritive de Balanites Aegyptiaca Pour l'alimentation Des Ruminants. *Livest. Res. Rural Dev.*, 20(4), 2008.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 77, 59-91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)
- Kalema, V. N., Witkowski, E. T. F., Erasmus, B. F. N., & Mwavu, E. N. (2015). The Impacts of Changes in Land Use on Woodlands in an Equatorial African Savanna. *Land Degradation & Development*, 26(7), 632-641. <https://doi.org/10.1002/ldr.2279>

- Kalio, A. (2014). Performance of West African Dwarf (WAD) Goats Fed N-treated Source and Forage Supplemented Cassava Peels in Humid Cross River State, Nigeria. *American Journal of Experimental Agriculture*, 4, 629-638. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2014/6972>
- Kamati, M., Mupangwa, J., & Shipandeni, M. N. (2022). Characterization of the nutritional values of agro-industrial by-products in Namibia as potential supplements of the bush-based feeds: Agro-industrial by-products. *Welwitschia International Journal of Agricultural Sciences*, 3, 11-22. <https://journals.unam.edu.na/index.php/WIJAS/article/view/1572>
- Karakurt, I., Aydin, G., & Aydiner, K. (2012). Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review. *Renewable energy*, 39(1), 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.09.006>
- Karki, S., Burton, P., Mackey, B. (2020). Climate change adaptation by subsistence and smallholder farmers: Insights from three agroecological regions of Nepal. *Cogent Social Sciences*, 6(1), (2020) 1720555. <https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1720555>
- Kate, S., Houndonougbo, P. V., Tougan, P., Tchobo, A., Gounou, N., Ogodja, O. J., Tinte, B., Diarra, E., Ogouwale, S., Sinsin, B. (2015). Impact of climate change on cattle production and adaptation in the municipality of Banikoara in Benin. *International Journal and Agricultural Research.*, 6, 2, (2015), 38-46
- Kaumbata, W., Banda, L., Mészáros, G., Gondwe, T., Woodward-Greene, M. J., Rosen, B. D., Van Tassell, C. P., Sölkner, J., Wurzinger, M. (2020). Tangible and Intangible Benefits of Local Goats Rearing in Smallholder Farms in Malawi. *Small Rumin. Res.*, 187, 106095. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106095>
- Kawas, J. R., Andrade-Montemayor, H., Lu, C. D. (2010). Strategic nutrient supplementation of free-ranging goats. *Small Ruminant Research*, 89, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.050>
- Kearl, L. C. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuffs Institute, Utah state University, Logan, USA, 1982.
- Ketzis, J. K., Vercruysse, J., Stromberg, B. E., Larsen, M., Athanasiadou, S., Houdijk, J. G. M. (2006). Evaluation of Efficacy Expectations for Novel and Non-Chemical Helminth Control Strategies in Ruminants. *Vet. Parasitol.*, 139, 321–335. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.022>

- Kgosikoma, K. R., Lekota, P. C., & Kgosikoma, O. E. (2018). Agro-pastoralists' determinants of adaptation to climate change. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 10(3), 488-500. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2017-0039>
- Kiki, P. S., Dahouda, M., Toleba, S. S., Ahounou, S. G., Dotché, I. O., Govoeyi, B., Antoine-Moussiaux, N., Mensah, G. A., Farougou, S., & Karim, I. Y. A. (2018). Gestion de l'alimentation des porcs et contraintes de l'élevage porcin au Sud-Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 71(1-2), 67-74. <https://doi.org/10.19182/remvt.31223>
- Kilama, J., Yakir, Y., Shaani, Y., Adin, G., Kaadan, S., Wagali, P., Sabastian, C., Ngomuo, G., & Mabjeesh, S. J. (2023). Chemical composition, in vitro digestibility, and storability of selected agro-industrial by-products: Alternative ruminant feed ingredients in Israel. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14581>
- Kimaro, E. L., Choong, C.-K., & Sea, L. L. (2017). Government Expenditure, Efficiency and Economic Growth: A Panel Analysis of Sub Saharan African Low Income Countries. *African Journal of Economic Review*, 05(2). <https://doi.org/10.22004/ag.econ.264565>
- Kingbo, A., Teka, O., Aoudji, A. K. N., Ahohouendo, B., Ganglo, J.-C. (2022). Climate Change in Southeast Benin and Its Influences on the Spatio-Temporal Dynamic of Forests, Benin, West Africa. *Forests*, 13,698. <https://doi.org/10.3390/f13050698>
- Klein, H.-D., Rippstein, G., Huguenin, J., Toutain, B., & Guerin, H. (2014). *Les cultures fourragères*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2169-1>. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23942>
- Knight, T., Ronimus, R. S., Dey, D., Tootill, C., Naylor, G., Evans, P., Molano, G., Smith, A., Tavendale, M., & Pinares-Patino, C. S. (2011). Chloroform decreases rumen methanogenesis and methanogen populations without altering rumen function in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.059>
- Komi, A. K. (2018). Des conflits violents entre des agriculteurs et des éleveurs africains : De l'(in)hospitalité de et pour ce(ux) qui dérange(nt). *Revue de l'Institut de Sociologie*, 88, 75-96. <https://journals.openedition.org/ris/624>
- Komowski, F., Lalou, R. (2017). The Association of Monetary, Multidimensional and Traditional Poverty with Climate Change Adaptive Capacities in Northern Benin. In: Leal Filho, W., Belay, S., Kalangu, J., Menas, W., Munishi, P., Musiyiwa, K. (eds) *Climate Change Adaptation in*

Africa. *Climate Change Management*, 727-746. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49520-0_45

Koralagama, K. D. N., Mould, F. L., Fernandez-Rivera, S., & Hanson, J. (2008). The effect of supplementing maize stover with cowpea (*Vigna unguiculata*) haulms on the intake and growth performance of Ethiopian sheep. *Animal*, 2(6), 954-961. <https://doi.org/10.1017/S1751731108001912>

Kouakou, I. F. K., Kouadio, K. P., Brou, G. K. G., & Akande, I. J-M. (2024). Évaluation de quelques performances zootechniques des petits ruminants de race Djallonké soumis à deux types de régimes alimentaires à Korhogo. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 61(1), 11178 - 11190. <https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2024/08/5.Kouakou.pdf>

Kouato, G. O., Houndonougbo, P. V., Aubin, D., Dossou, J., Babatounde, S., Agbangla, C., Achille, C., & Chrysostome, A. (2021). Caractérisation des systèmes d'élevage des caprins au Nord du Bénin. *Afr. Sci*, 18, 22-35.

Kouazoundé, J., Babatoundé, S., Gbenou, J. D., Srivastava, N., Eggleston, S. H., Antwi, C., Baah, J., McAllister, T. A. (2014). Development of methane emission factors for enteric fermentation in cattle from Benin using IPCC Tier 2 methodology. *Animal*, 1-8. <https://doi.org/10.101/S1751731114002626>

Koura, B. I., Calabrò, S., Dossa, L., Musco, N., Cutrignelli, M., & Marcel, H. (2016). Nutritional Value of Cereal and Legume Crop Residues Fed to Ruminant in Republic of Benin. *Journal of Nutritional Ecology and Food Research*, 3, 151-160. <https://doi.org/10.1166/jnef.2016.1123>

Koura, B. I., Vastolo, A., Kiatti, D. D., Cutrignelli, M. I., Houinato, M., & Calabrò, S. (2022). Nutritional Value of Climate-Resilient Forage Species Sustaining Peri-Urban Dairy Cow Production in the Coastal Grasslands of Benin (West Africa). *Animals*, 12(24), 3550. <https://doi.org/10.3390/ani12243550>

Koura, B. I., Yassegoungbe, F. P., & Dossa, L. H. (2024). Production systems and strategies of peri-urban goat and sheep farmers for dry season feeding: A case study from Benin (West-Africa). *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2356934. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2356934>

Koura, B. I., Yassegoungbe, F. P., Afatondji, C. U., Cândido, M. J. D., Guimaraes, V. P., & Dossa, L. H. (2021). Diversity and nutritional values of leaves of trees and shrubs used as

supplements for goats in the sub-humid areas of Benin (West Africa). *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 133. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02559-9>

Koura, I. B., Dossa, L. H., Kassa, B. D., & Houinato, M. (2015). Adaptation of Periurban Cattle Production Systems to Environmental Changes: Feeding Strategies of Herdsmen in Southern Benin. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(1), 83-98. <https://doi.org/10.1080/21683565.2014.953662>

Koutou, M., Sangaré, M., Havard, M., Vall, E., Sanogo, L., Thombiano, T., & Vodouhe, D. S. (2016). Adaptation des pratiques d'élevage des producteurs de l'Ouest du Burkina Faso face aux contraintes foncières et sanitaires. *Agronomie Africaine*, 28(2), 13-24. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/164142>

Kpodekon, M., Youssao Abdou Karim, I., Koutinhin, B., Djago, Y., & Amida, E. (2019). Influence de la teneur en tourteaux de coton de l'aliment d'engraissement sur les performances de croissance des lapins. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 68, 10-19.

Krätli, S., Hulsebusch, C., Brooks, S., Kaufmann, B. (2013). Pastoralism: A Critical Asset for Food Security under Global Climate Change. *Anim. Front.*, 3, 42–50. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0007>

Kronqvist, C., Kongmanila, D., & Wredle, E. (2021). Effects of replacing grass with foliage on growth rate and feed intake in goats—A systematic review and meta-analysis. *Animals*, 11(11), 3163. <https://doi.org/10.3390/ani11113163>

Ku-Vera, J. C., Jiménez-Ocampo, R., Valencia-Salazar, S. S., Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Arango, J., Gómez-Bravo, C. A., Aguilar-Pérez, C. F., & Solorio-Sánchez, F. J. (2020). Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 584. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00584>

Kyarikunda, M., Nyamukuru, A., Mulindwa, D., Tabuti, J. R. S. (2017). Agroforestry and Management of Trees in Bunya County, Mayuge District, Uganda. *Int. J. For. Res.*, 3046924. <https://doi.org/10.1155/2017/3046924>

Laabouri, F. Z., Guerouali, A., Alali, A. S., & Maghfoul, M. (2018). Modèles D'estimation De L'émission Du Méthane Entérique Des Animaux D'élevage Au Maroc. *European Scientific Journal*, 14(6), 102. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p102>

- Laabouri, F. Z., Guerouali, A., Alali, S., & Oumane, H. (2015). Effet de l'huile de tournesol sur l'émission de méthane entérique chez la vache laitière. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3(2), 66-71. http://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/390
- Lamidi, A. A., & Aina, A. B. J. (2015). *Nutrients intake and digestibility of common agro-industrial by-products by west african dwarf sheep in South-West Nigeria. Gashua Journal of Irrigation and Desertification Studies*, Vol. 1 , Nos. 1&2, 131-
- Landais, E. (1994). Système d'élevage. *D'une intuition holiste à une méthode de recherche, le cheminement d'un concept. A la croisée des parcours. Pasteurs, éleveurs, cultivateurs*. Orstom Editions. hal-02845890
- Lantokpodé, A., Ayokpon, N. H., Rodrigue, R. C., Yabi, I. (2022). Manifestations of climate variability in the department of Alibori in Benin. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 13(01), 679-688. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.13.1.0590>
- Lassey, K. R. (2007). Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and forest meteorology*, 142(2-4), 120-132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.028>
- Lassey, K. R., Ulyatt, M. J., Martin, R. J., Walker, C. F., & Shelton, I. D. (1997). Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric environment*, 31(18), 2905-2914. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00123-4)
- Lawal, A. M., Chaibou, M., Garba, M. M., Mani, M., & Gouro, A. S. (2017). Gestion et utilisation des résidus de cultures pour l'alimentation animale en milieu urbain et périurbain : Cas de la communauté urbaine de Niamey. *Journal of Applied Biosciences*, 115, 11423-11433. https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2017/07/2.Lawal_.pdf
- Le Dang, H., Li, E., Nuberg, I., Bruwer, J. (2019). Factors influencing the adaptation of farmers in response to climate change: A review. *Climate and Development*, 11(9), 765-774. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1562866>
- Leister, A. M., Paarlberg, P. L., Lee, J. G. (2015). Dynamic effects of drought on U.S. Crop and livestock sectors. *J Agric Appl Econ*, 47, 261–284. <https://doi.org/10.1017/aae.2015.8>
- Lesse, D. A. P. (2016). Gestion et modélisation de la dynamique des parcours de transhumance dans un contexte de variabilité climatique au Nord-Est du Bénin. Thèse de

doctorat, Université d'Abomey – Calavi, 299p. <https://www.leabenin-fsauac.net/fr/gestion-et-modelisation-de-la-dynamique-des-parcours-de-transhumance-dans-un-contexte-de-variabilites-climatiques-au-nord-est-du-benin-fr/>

Lesse, P., Houinato, M., Azihou, F., Djenontin, J., & Sinsin, B. (2016). Typologie, productivité, capacité de charge et valeur pastorale des pâturages des parcours transhumants au Nord Est de la République du Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14(1), 132-150.

Lesse, P., Marcel, H., Ibouaïma, Y., Dossa, L., & faycath, souberou. (2017). Vulnérabilité de l'élevage transhumant à la variabilité hydroclimatique dans le Nord-Est de la République du Bénin. *Revue du CAMES*, 8, 233-249.

Lessire, F., Bernard, M., Reding, R., Lioy, R., Kristensen, T., Reuter, W., Elias, E., & Dufrasne, I. (2016). Life-Dairyclim, European project aiming to mitigate methane emissions and carbon footprint of dairy cows. In M. Höglind, A. K. Bakken, K. A. Hovstad, E. Kallionemi, H. Riley, H. Steinshamm, ... L. Ostrem, The multiple roles of grassland in the European bioeconomy (pp. 805-807). Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers.

Lhoste, P. (1984). Le diagnostic sur le système d'élevage. *Les cahiers de la Recherche Développement*, 3-4, 84-88.

Linstädter, A., Kuhn, A., Naumann, C., Rasch, S., Sandhage-Hofmann, A., Amelung, W., Jordaan, J., Du Preez, C. C., Bollig, M. (2016). Assessing the Resilience of a Real-World Social-Ecological System: Lessons from a Multidisciplinary Evaluation of a South African Pastoral System. *Ecol. Soc.*, 21, 35. <https://doi.org/10.5751/ES-08737-210335>

López Benavides, K., Rocha, L., Serrano, E., Bartolomé Filella, J. (2022). Feeding Preferences of Domestic and Wild Ungulates for Forage Trees in the Dry Tropics. *Sustainability*, 14, 13430. <https://doi.org/10.3390/su142013430>

Ly, C., Fall, A., & Okike, I. (2010). The Livestock Sector in Need of Regional Strategies. *Livestock in a changing landscape: experiences and regional perspectives*. Island Press, 210p. <https://www.fao.org/4/am075e/am075e00.pdf#page=43>

Ma, T., Deng, K., & Diao, Q. (2019). Prediction of methane emission from sheep based on data measured in vivo from open-circuit respiratory studies. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(9), 1389-1396. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0828>

- Machmüller, A., Ossowski, D. A., & Kreuzer, M. (2000). Comparative evaluation of the effects of coconut oil, oilseeds and crystalline fat on methane release, digestion and energy balance in lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 85(1-2), 41-60. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840100001267>
- Machmüller, A., Soliva, C. R., & Kreuzer, M. (2003). Effect of coconut oil and defaunation treatment on methanogenesis in sheep. *Reproduction Nutrition Development*, 43(1), 41-55. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00126-7)
- MAEP. (2017). Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA): orientation stratégique 2025 et Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017-2021. 132p. <https://apidsa.agriculture.gouv.bi/public/storage/uploads/JGRyVh4YRKJawg2eh524c2tureYQE5wV9FiQz2sk.pdf>
- Mafindi, U., Abubakar, M., Oguntoye, M., Ardo, B., Sani, U., Liman, A., Mohammed Sani, U. (2020). Comparative Evaluation Of Nutritional Composition Of Some Selected Browse Trees In Taraba State, Nigeria. *Taraba J. Agric. Res.*, 6(2), 81-87.
- Manafiazar, G., Zimmerman, S., & Basarab, J. (2016). Repeatability and variability of short-term spot measurement of methane and carbon dioxide emissions from beef cattle using GreenFeed Emissions Monitoring System. *Canadian Journal of Animal Science*, CJAS-2015-0190. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2015-0190>
- Manirakiza, J., Hatungumukama, G., Besbes, B., & Detilleux, J. (2020). Characteristics of smallholders' goat production systems and effect of Boer crossbreeding on body measurements of goats in Burundi. *Pastoralism*, 10(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s13570-019-0157-5>
- Martin, C., Morgavi, D. P., & Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal*, 4(3), 351-365. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990620>
- Martin, C., Morgavi, D., Doreau, M. M., & Jouany, J. P. (2006). Comment réduire la production de méthane chez les ruminants? *Fourrages*, 187, 283-300. <https://hal.science/hal-02658253/>
- Martin, C., Morgavi, D., Doreau, M., & Jouany, J. P. (2007). Comment reduire la production de méthane chez les ruminants? *Point Veterinaire*, 38(272), 10. hal-02665409.

- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M., Chilliard Y. (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows with crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *J. Anim. Sci.*, 86, 2642-2650. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0774>
- Martin, R., Linstädter, A., Frank, K., Müller, B. (2016). Livelihood Security in Face of Drought—Assessing the Vulnerability of Pastoral Households. *Environ. Model. Softw.*, 75, 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.10.012>
- Mataveia, G. A., Visser, C., & Siteo, A. (2021). Smallholder goat production in Southern Africa: A review. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97792>
- Matovu, J., Alçiçek, A. (2023). Feed Resources Used for Small Ruminant Nutrition in Sub-Saharan Africa: A Case Study of Uganda. *Trop. Anim. Health Prod.*, 55, 377. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03781-3>
- Mayala, N. M., Katundu, M. A., & Msuya, E. E. (2019). Socio-cultural Factors influencing livestock investment decisions among Smallholder Farmers in Mbulu and Bariadi Districts, Tanzania. *Global Business Review*, 20(5), 1214-1230. <https://doi.org/10.1177/0972150917742556>
- McIntosh, M. J., Morse, J. M. (2015). Situating and constructing diversity in semi-structured interviews. *Global Qualitative Nursing Research*, vol. 2, 1–12. <https://doi.org/10.1177/2333393615597674>
- McMillin, K. W., Webb, E. C., Donkin, E. F., & Pinkerton, F. (2012). Goat meat production systems. In O. Mahgoub, I. Kadim, & E. Webb (Éds.), *Goat meat production and quality* (1^{re} éd., p. 15-32). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845938499.0015>
- Menghistu, H. T., Abraha, A. Z., Tesfay, G., & Mawcha, G. T. (2020). Determinant factors of climate change adaptation by pastoral/agro-pastoral communities and smallholder farmers in sub-Saharan Africa: A systematic review. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(3), 305-321. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJCCSM-07-2019-0049/full/html>
- Mengistu, G., Bezabih, M., Hendriks, W. H., Pellikaan, W. F. (2017). Preference of Goats (C Apra Hircus L.) for Tanniniferous Browse Species Available in Semi-arid Areas in E Thiopia. *Anim. Physiol. Nutr.* 2017, 101, 1286–1296. <https://doi.org/10.1111/jpn.12648>

- Mensah, É. J.-P. A., Kindomihou, V., Moussa, H., Houndonougbo, F., Vodouhè, D. S., Aiyelaagbe, I., & Sinsin, B. (2022). Potentialités de production biologique des systèmes d'élevage traditionnels de Petits Ruminants: Une synthèse. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 52(2), 9404-9450.
- Mertz, O., Mbow, C., Reenberg, A., Genesio, L., Lambin, E. F., D'haen, S., Zorom, M., Rasmussen, K., Diallo, D., Barbier, B., Moussa, I. B., Diouf, A., Nielsen, J. Ø., & Sandholt, I. (2011). Adaptation strategies and climate vulnerability in the Sudano-Sahelian region of West Africa. *Atmospheric Science Letters*, 12(1), 104-108. <https://doi.org/10.1002/asl.314>
- Miéguoué, E., Tendonkeng, F., Lemoufouet, J., Mweugang Ngouopo, N., Noubissi, M. N. B., Fongang, M. D., Zougou Tovignon, G., Matumuini Ndzani, E. F., Mboko, A. V., & Boukila, B. (2016). Ingestion et digestibilité de *Pennisetum purpureum* associé à une légumineuse (*Arachis glabrata*, *Calliandra calothyrsus* ou *Desmodium intortum*) comme source de protéines chez le cobaye. *Livestock Research for Rural Development*, 28(1), 12p
- Mihiretu, A., Okoyo, E. N., & Lemma, T. (2020). Small holder farmers' perception and response mechanisms to climate change: Lesson from Tekeze lowland goat and sorghum livelihood zone, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1763647. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1763647>
- Min, B. R., Solaiman, S., Waldrip, H. M., Parker, D., Todd, R. W., & Brauer, D. (2020). Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options. *Animal Nutrition*, 6(3), 231-246. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002>
- Mirzaei-Aghsaghali, A., & Maheri-Sis, N. (2008). Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants-A review. *World J. Zool*, 3(2), 40-46.
- Missohou, A., Grégoire, N., Simplicie, B. A., Mbacké, S. (2016). Elevage caprin en Afrique de l'Ouest: une synthèse. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 69 (1), 3-18. <https://doi.org/10.19182/remvt.31167>
- Missohou, A., Talaki, E., & Laminou, I. M. (2006). Diversity and genetic relationships among seven West African goat breeds. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 19(9), 1245-1251. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.1245>
- Mkhize, N., Scogings, P., Nsahlai, I., & Dziba, L. (2014). Diet selection of goats depends on season: Roles of plant physical and chemical traits. *African Journal of Range and Forage Science*, 31. <https://doi.org/10.2989/10220119.2014.901417>

- Moe, P. W., & Tyrrell, H. F. (1979). Methane production in dairy cows. *Journal of dairy science*, 62(10), 1583-1586. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83465-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83465-7)
- Mohammed, K., Batung, E., Kansanga, M., Nyantakyi-Frimpong, H., & Luginaah, I. (2021). Livelihood diversification strategies and resilience to climate change in semi-arid northern Ghana. *Climatic Change*, 164(3-4), 53. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03034-y>
- Molina-Alcaide, E., & Yáñez-Ruiz, D. R. (2008). Potential use of olive by-products in ruminant feeding: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1-3), 247-264. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.021>
- Molina-Flores, B., Manzano-Baena, P., & Coulibaly, M. D. (2020). The role of livestock in food security, poverty reduction and wealth creation in West Africa. *FAO, Accra*, 256p. <https://doi.org/10.4060/ca8385en>
- Molotoks, A., Smith, P., Dawson, T. P. (2021). Impacts of Land Use, Population, and Climate Change on Global Food Security. *Food Energy Secur.*, 10, e261. <https://doi.org/10.1002/fes3.261>
- Montcho, M., Assani, A. S., & Bassao, E. N. (2024). Seasonal fluctuation of livestock feed resources in dry regions of Benin. *Journal of Livestock Science*, 15, 300-306. <https://doi.org/10.33259/JLivestSci.2024.300-306>
- Montcho, M., Babatounde, S., Aboh, A. B., Houndonougbo, F., & Chrysostome, A. M. C. (2018). Perception et adoption des innovations techniques en alimentation des ruminants au Bénin. *Agronomie Africaine*, 30(1), 31-45.
- Montcho, M., Babatounde, S., Aboh, B. A., Bougouma-Yameogo, V., Chrysostome, A., & Mensah, G. A. (2017). Utilisation des sous-produits agricoles et agro-industriels dans l'alimentation des ovins Djallonké au Bénin: Perception des éleveurs, préférences et performances de croissance. *Afrique Science*, 13(5), 174-187. <https://bec.uac.bj/uploads/publication/d77b4754720003aa8367aa7499179136.pdf>
- Montcho, M., Babatoundé, S., B., Aboh, A., Mensah, G., & Bougouma Yameogo, V. (2017). In vitro digestibility and fermentation kinetics of agricultural and agro-industrial by-products used in ruminant feeding in Benin Republic. *Journal of Applied Biosciences*, 28-41. <https://doi.org/10.4314/jab.v116i1.10>

- Montcho, M., Padonou, E. A., Montcho, M., Mutua, M. N., & Sinsin, B. (2022). Perception and adaptation strategies of dairy farmers towards climate variability and change in West Africa. *Climatic Change*, 170(3-4), 38. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03311-4>
- Montcho, M., Severin, B., Aboh, B., Bahini, M., Chrysostome, A., & Mensah, G. (2016). Disponibilite, Valeurs Marchande Et Nutritionnelle Des Sous-Produits Agricoles Et Agroindustriels Utilises Dans L'alimentation Des Ruminants Au Benin. *European Scientific Journal*, 12. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n33p422>
- Morgavi, D. P., Forano, E., Martin, C., & Newbold, C. J. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *animal*, 4(7), 1024-1036. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000546>
- Mortimore, M. J., & Adams, W. M. (2001). Farmer adaptation, change and 'crisis' in the Sahel. *Global environmental change*, 11(1), 49-57. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00044-3)
- Mosimanyana, B., & Kiflewahid, B. (2006). *Feeding of crop residues to milking cows in small scale farms in Botswana*. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaaz475.pdf#page=131
- Muigai, A. W. T., & Hanotte, O. (2013). The Origin of African Sheep: Archaeological and Genetic Perspectives. *African Archaeological Review*, 30(1), 39-50. <https://doi.org/10.1007/s10437-013-9129-0>
- Münger, A., Denninger, T., Martin, C., Eggerschwiler, L., & Dohme-Meier, F. (2018). Émissions de méthane de vaches au pâturage : Comparaison de deux méthodes de mesure. *Recherche Agronomique Suisse*, 9(6), 180-185.
- Musco, N., Koura, I. B., Tudisco, R., Awadjihè, G., Adjolohoun, S., Cutrignelli, M. I., Mollica, M. P., Houinato, M., Infascelli, F., & Calabrò, S. (2016). Nutritional Characteristics of Forage Grown in South of Benin. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(1), 51-61. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0200>
- Mutwedu, V. B., Bacigale, S. B., Mugumaarhahama, Y., Muhimuzi, F. L., Munganga, B., Ayagirwe, R. B., Nguetzet, P. M. D., & Manyawu, G. (2022). Smallholder farmers' perception and challenges toward the use of crop residues and agro-industrial byproducts in livestock feeding systems in Eastern DR Congo. *Scientific African*, 16, e01239. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01239>

N. A. S. A (National American Security Agency). (2021). The agro-climatic database, <http://power.larc.nasa.gov>.

N. R. C (National Research Council). (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11654>

Naah, J. B. S. (2020). Community-Level Analysis of Value Webs of Biomass-Based Resources: A Case Study among Local Actors in Ghana. *Sustainability*, 12, 1644. <https://doi.org/10.3390/su12041644>

Naah, J.-B. S. N. (2018). Investigating criteria for valuation of forage resources by local agro-pastoralists in West Africa: Using quantitative ethnoecological approach. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 14(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s13002-018-0261-4>

Naah, J.-B. S., & Braun, B. (2019). Local agro-pastoralists' perspectives on forage species diversity, habitat distributions, abundance trends and ecological drivers for sustainable livestock production in West Africa. *Scientific Reports*, 9(1), 1707. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38636-1>

Nabikolo, D., Bashaasha, B., Mangheni, M. N., & Majaliwa, J. G. M. (2012). Determinants of climate change adaptation among male and female headed farm households in eastern Uganda. *African Crop Science Journal*, 20, 203-212. <https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/81767>

Naess, L. O. (2013). The role of local knowledge in adaptation to climate change. *WIREs Climate Change*, 4(2), 99-106. <https://doi.org/10.1002/wcc.204>

Nantoumé, H., Cissé, S., Sow, P. S., Sidibé, S., Kouriba, A., Olivier, A., Bonneville, J., & Cinq-Mars, D. (2018). Impact de rations comportant des fourrages de *Pterocarpus lucens*, *Pterocarpus erinaceus* et *Ficus gnaphalocarpa* sur l'embouche ovine au Mali. *Tropicultura*, 36(4), 673-683. <https://popups.uliege.be/2295-8010/index.php?id=400&file=1>

Nantoumé, H., Kouriba, A., Diarra, C. H. T., & Coulibaly, D. (2011). Improvement of the productivity of small ruminants: A way of diversification of income and fighting against food insecurity. *Livestock Research for Rural Development* 23(5) https://www.researchgate.net/publication/287757838_Improvement_of_the_productivity_of_small_ruminants_A_way_of_diversification_of_income_and_fighting_against_food_insecurity

- Nardone, A. R., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems, *Livest. Sci.*, 130, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- Naumann, H. D., Tedeschi, L. O., Zeller, W. E., & Huntley, N. F. (2017). The role of condensed tannins in ruminant animal production: Advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 929-949. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001200009>
- Newbold, C. J., McIntosh, F. M., Williams, P., Losa, R., & Wallace, R. J. (2004). Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Animal feed science and technology*, 114(1-4), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.12.006>
- Njida, A. A., & Ikhimoya, I. (2012). Anti-nutritional constituents of browse plants in animal nutrition: A review. *J. Sustain Agric. Environ*, 13(1), 15-28.
- Nkana, J. G. K., Mweugang, N. N., Germanus, S. B., Semi, Y. A., Ntsafack, P., Awantu, C., Wangba, C. T., Noubbissi, M. N. B., Djoumessi, F. G. T., & Miégoué, E. (2020). Effet de quelques légumineuses fourragères sur la reproduction, la croissance et la carcasse chez les cochons d'inde (*Cavia porcellus L.*). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(2), 600-612. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i2.23>
- Offoumon, O. T. L. F., Idrissou, Y., Boko, L., Seidou, A. A., Karim, I. Y. A., & Traore, I. A. (2022). Performance laitière des chèvres métisses (Saanen x Rousse de Maradi) complémentées avec un aliment contenant du foin de luzerne en zone soudano-guinéenne du Nord Bénin. *Afrique Science*, 20(4), 19-32. <https://www.afriquescience.net/admin/postpdfs/32d34acc50d7fdcaa3648afb2e5e461a1720196739.pdf>
- Ogouwalé, E. (2006). Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 302p.
- Ogunbosoye, D. O., & Salau, K. B. (2020). In vitro fermentation evaluation of selected agro-industrial by-products as alternative feed for ruminants. *Nigerian Journal of Animal Production*, 47(4), 219-226. <https://doi.org/10.51791/njap.v47i4.88>
- Ojango, J. M. K., Audho, J., Oyieng, E., Recha, J., Okeyo, A. M., Kinyangi, J., Muigai, A. W. T. (2016). System characteristics and management practices for small ruminant production in

“Climate Smart Villages” of Kenya. *Animal Genetic Resources*, 58,101–110.
<https://hdl.handle.net/10568/73439>

Ojo, V. O. A., Lamidi, A. A.; Aina, A. B. J. (2022). Influence of Age at Harvest on the Organic Nutrients Degradability of Shrub and Tree Forage Plants by West African Dwarf Sheep. *Niger. J. Anim. Prod.*, 49, 307–316. <https://doi.org/10.51791/njap.v49i2.3492>

Okoruwa, M. I., & Ikhimiyo, I. (2020). Influence of browse-tree leaves supplementation on digestibility, rumen fermentation and performance of goats fed mixed grass hay. *Livestock Research and Rural Development*, 32(6), 84-100.
<https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd32/6/odion32093.html>

Oluwagbemi, T., & Okpe, A. A. (2020). Effect Of Dry Season Supplementation Of West African Dwarf Goats In The Nigerian Guinea Sananna Zone: A Case Study Of Anyigba, Kogi State. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies*, Vol 7,1, 8p.
http://www.ijiras.com/2020/Vol_7-Issue_1/paper_7.pdf

Omotosho, S. O., Ajayi, F. T., Boladuro, B. A., & Emerue, P. C. (2021). A mixed ration of crop residues: Effects on rumen fermentation characteristics and blood indices of WestAfrican dwarf sheep. *Nigerian Journal of Animal Production*, 48(6), 348-362.
<https://doi.org/10.51791/njap.v48i6.3323>

Onaleye, K. J., Amuda, A. J., Elkanah, R., & Buba, E. L. (2020). Nutritive evaluation of selected agro-industrial by-products for small ruminant production. *Nigerian Journal of Animal Production*, 1756-1760. <https://www.njap.org.ng/index.php/njap/article/view/6082>

Oni, A. O., Oluwayemisi, A., Adebayo, K., Sowande, O. S., Iposu, S., & Onwuka, C. F. I. (2017). Effects of supplementing cassava peels with cassava leaves and cowpea haulms on the rumen environment and blood profile parameters of West African dwarf goats. *Archivos de Zootecnia*, 66(255), 397-404. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0695-1>

Onyeonagu, C. C., & Njoku, O. L. (2010). Crop residues and agro-industrial by-products used in traditional sheep and goat production in rural communities of Markudi LGA. *Agro-Science*, 9(3). <https://doi.org/10.4314/as.v9i3.65750>

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. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/3/i3461e/i3461e.pdf>

- Opiyo, F., Wasonga, O. V., Nyangito, M. M., Mureithi, S. M., Obando, J. (2016). Determinants of perceptions of climate change and adaptation among Turkana pastoralists in northwestern Kenya. *Climate and development*, 8(2), 179-189. <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1034231>
- Orzuna-Orzuna, J. F., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G. D.; Miranda-Romero, L. A. (2023). Meta-Analysis of Hydroxycinnamic Acids into Finishing Lambs' Diet: Growth Performance, Antioxidant Status, and Meat Quality. *Small Rumin. Res.*, 223, 106963. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.106963>
- Osuga, I. M., Maindi, C. N., Abdulrazak, S. A., Nishino, N., Ichinohe, T., Fujihara, T. (2007). Potential Nutritive Value and Tannin Bioassay of Selected Acacia Species from Kenya. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 1533–1538. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2883>
- Osumanu, I. K., Aniah, P., & Yelfaanibe, A. (2017). Determinants of adaptive capacity to climate change among smallholder rural households in the Bongo District, Ghana. *Ghana Journal of Development Studies*, 14(2), 142-162. <https://doi.org/10.4314/gjds.v14i2.8>
- Ouédraogo, K., Zaré, A., Korbéogo, G., Ouédraogo, O., & Linstädter, A. (2021). Resilience strategies of West African pastoralists in response to scarce forage resources. *Pastoralism*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s13570-021-00210-8>
- Ouédraogo-Koné, S., Kaboré-Zoungana, C. Y., & Ledin, I. (2006). Behaviour of goats, sheep and cattle on natural pasture in the sub-humid zone of West Africa. *Livestock Science*, 105(1-3), 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.06.010>
- Oumorou, M., Aboh, B. A., Babatounde, S., Houinato, M., & Sinsin, B. (2010). Valeur pastorale, productivité et connaissances endogènes de l'effet de l'invasion, par *Hyptis suaveolens* L. Poit., des pâturages naturels en zone soudano-guinéenne (Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(4). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.63062>
- Oyewole, S., & Aderinola, O. (2019). Growth performance and bio-economic indices of varying mixtures of grass-legume pellets fed to West African dwarf (wad) goats. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 9(24), 55-62.
- Ozor, N., Urama, K., & Mwangi, W. (2012). Climate change vulnerability and the Use of Indigenous technologies for adaptation among smallholder farming communities in sub saharan Africa. *Journal of Agricultural Extension*, 16(2), 161-182. <https://doi.org/10.4314/jae.v16i2.13>

- Patra, A. K. (2014). A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. *Livestock Science*, 162, 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.007>
- Pech-Cervantes, A. A., Ventura-Cordero, J., Capetillo-Leal, C. M., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A. (2016). Relationship between Intake of Tannin-Containing Tropical Tree Forage, PEG Supplementation, and Salivary Haze Development in Hair Sheep and Goats. *Biochem. Syst. Ecol.*, 68, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.07.003>
- Peters, M., Herrero, M., Fisher, M., Erb, K.-H., Rao, I., Subbarao, G. V., Castro, A., Arango, J., Chará, J., & Murgueitio, E. (2013). Challenges and opportunities for improving eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(2), 156-167. 1(2), 156–167. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)156-167](https://doi.org/10.17138/tgft(1)156-167)
- Philippe, F-X., Laitat M., Wavreille J., Nicks, B., Cabaraux, J-F. (2015). Effects of a high-fibre diet on ammonia and greenhouse gas emissions from gestating sows and fattening pigs. *Atmospheric environment*, 109, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.025>
- Phocas, F., Agabriel, J., Dupont-Nivet, M., Geurden, I., Médale, F., Grasteau, S., Gilbert, H., & Dourmad, J.-Y. (2014). Le phénotypage de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficience des productions animales. *INRA Productions Animales*, 27(3), 235-248. <https://hal.science/hal-01193938/>
- Piluzza, G., Sulas, L., & Bullitta, S. (2014). Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: A review. *Grass and Forage Science*, 69. <https://doi.org/10.1111/qfs.12053>
- Pinares-Patiño, C. S., Lively, F., & Lassey, K. R. (2015). Chapter 10: The sulphur hexafluoride tracer technique for estimating enteric methane emissions from ruminants. In W. Gerrits & E. Labussière (Éds.), *Indirect calorimetry* (p. 185-212). Brill | Wageningen Academic. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-261-0_10
- Pinares-Patiño, C. S., Hickey, S. M., Young, E. A., Dodds, K. G., MacLeans, S., Molano, G., Sandoval, E., Kjestrup, H., Harland, R., Pickering, N. K., Mc Ewan, J.C. (2013). Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal*, 7, (2), 316-321. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000864>

- Pinares-Patiño, C. S., Waghorn, G. C., Machmüller, A., Vlaming, B., Molano, G., Cavanagh, A., & Clark, H. (2007). Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(4), 601-613. <https://doi.org/10.4141/CJAS06023>
- Popova, M., Morgavi, D. P., Doreau, M., & Martin, C. (2011). Production de méthane et interactions microbiennes dans le rumen. *INRAE Productions Animales*, 24(5), 447-460. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.5.3277>
- Prasad, C. S., Sejian, V. (2015). Climate change impact on livestock sector: Visioning 2025. In *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer: Berlin, Germany, 479–489. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_26
- Provost, A., Charray, J., Coulomb, J., Haumesser, J. B., Planchenault, D., & Pugliese, P.-L. (1980). Les petits ruminants d'Afrique Centrale et d'Afrique de l'Ouest: Synthèse des connaissances actuelles. Maisons-Alfort, GERDAT-IEMVT, 295p. <http://agritrop.cirad.fr/380657/>
- Raji, E., Ijomah, T., & Eyieyien, O. (2024). Improving agricultural practices and productivity through extension services and innovative training programs. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6, 1297-1309. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i7.1267>
- Rege, J. E. O., Yapi-Gnoare, C. V., & Tawah, C. L. (1996). The indigenous domestic ruminant genetic resource. *South African Society of Animal Science*. <https://hdl.handle.net/10568/51177>
- Richard, D., Alary, V., Corniaux, C., Duteurtre, G., & Lhoste, P. (2019). Dynamique des élevages pastoraux et agropastoraux en Afrique intertropicale. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2895-9>
- Ripple, W. J., Smith, P., Haberl, H., Montzka, S. A., McAlpine, C., & Boucher, D. H. (2014). Ruminants, climate change and climate policy. *Nature climate change*, 4(1), 2-5. <https://doi.org/10.1038/nclimate2081>
- Rira, M. (2019). Les tanins hydrolysables et condensés : Une piste pour la réduction de la production du méthane entérique par les ruminants en milieu tropical. Thèse de doctorat, Université Clermont Auvergne 232p. <https://theses.hal.science/tel-02861917/>
- Rira, M., Morgavi, D. P., Archimède, H., Marie-Magdeleine, C., Popova, M., Bousseboua, H., & Doreau, M. (2015). Potential of tannin-rich plants for modulating ruminal microbes and

ruminal fermentation in sheep. *Journal of Animal Science*, 93(1), 334-347. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7961>

Rira, M., Morgavi, D. P., Popova, M., Maxin, G., & Doreau, M. (2022). Microbial colonisation of tannin-rich tropical plants: Interplay between degradability, methane production and tannin disappearance in the rumen. *animal*, 16(8), 100589. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100589>

Rissman, A. R., & Gillon, S. (2017). Where are Ecology and Biodiversity in Social–Ecological Systems Research? A Review of Research Methods and Applied Recommendations. *Conservation Letters*, 10(1), 86-93. <https://doi.org/10.1111/conl.12250>

Rogosic, J., Estell, R. E., Ivankovic, S., Kezic, J., Razov, J. (2008). Potential Mechanisms to Increase Shrub Intake and Performance of Small Ruminants in Mediterranean Shrubby Ecosystems. *Small Rumin. Res.*, 74, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.07.006>

Rogosic, J., Pfister, J. A., Provenza, F. D., & Pavlicevic, J. (2008). The effect of polyethylene glycol on intake of Mediterranean shrubs by sheep and goats. *Journal of animal science*, 86(12), 3491-3496. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0828>

Rowlinson, P. (2008). Adapting livestock production systems to climate change—temperate zones. In P. Rowlinson, M. Steele & A. Nefzaoui, proceedings of an international conference, Hammamet, Tunisia, 17-20 May 2008. Eds. Livestock and global change, Cambridge University Press, UK, 61-63.

Rust, J. M., Rust, T. (2013). Climate change and livestock production: A review with emphasis on Africa. *Afr. J. Anim. Sci.*, 43, 256–267. <https://doi.org/10.4314/sajas.v43i3.3>

Ruvuga, P., Wredle, E., Fupi, G. F., Mtwange, C. A., Kasiba, B. R., Selemani, I. S., & Kronqvist, C. (2022). Dry matter intake, dry matter digestibility and growth performance in goats fed grass-based diet (*Brachiaria* or *Cenchrus*) compared with a concentrate-based diet. *African Journal of Agricultural Research*, 18(1), 52-57. <https://doi.org/10.5897/AJAR2021.15785>

Sagna, P., Dipama, J. M., Vissin, E. W., Diomandé, B. I., Diop, C., Chabi, P. A. B., Sambou, P. C., Sané, T., Karambiri, B. L. C. N., Koudamilo, O., Diédhiou, Y. M., & Yade, M. (2021). Climate Change and Water Resources in West Africa: A Case Study of Ivory Coast, Benin, Burkina Faso, and Senegal. In S. Diop, P. Scheren, & A. Niang (Éds.), *Climate Change and Water Resources in Africa* (p. 55-86). https://doi.org/10.1007/978-3-030-61225-2_4

- Salama, A. A., Caja, G., Hamzaoui, S., Badaoui, B., Castro-Costa, A., Façanha, D. A. E., Guilhermino, M. M., Bozzi, R. (2014). Different levels of response to heat stress in dairy goats. *Small Rumin Res.*, 121, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.11.021>
- Salem, A. Z. M., Salem, M. Z. M., El-Adawy, M. M., Robinson, P. H. (2006). Nutritive Evaluations of Some Browse Tree Foliages during the Dry Season: Secondary Compounds, Feed Intake and in Vivo Digestibility in Sheep and Goats. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 127, 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.09.005>
- Salem, H. B. (2010). Nutritional management to improve sheep and goat performances in semi arid regions. *R. Bras. Zootec.*, v.39, 337-347. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300037>
- Salem, H. B., Nefzaoui, A., Salem, L. B., & Tisserand, J. L. (1997). Effect of *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage supply on intake and digestion by sheep fed lucerne hay-based diets. *Animal feed science and technology*, 68(1-2), 101-113. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00015-1)
- Salem, H., & Smith, T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*, 77, 174-194. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.008>
- Samara, E. M., Abdoun, K. A., Okab, A. B., Al-Badwi, M. A., El-Zarei, M. F., Al-Seaf, A. M., Al-Haidary, A. A. (2016). Assessment of heat tolerance and production performance of Aardi, Damascus, and their crossbred goats. *International journal of biometeorology*, 60, 1377-1387. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1131-6>
- Sanon, H. O., Kaboré-Zoungrana, C., & Ledin, I. (2007). Behaviour of goats, sheep and cattle and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small ruminant research*, 67(1), 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.09.025>
- Sarkwa, F.O., Adogla-Bessa, T., Timpong-Jones, E. C., Adjorlolo, L. K. (2021). Seasonal Changes in Chemical Composition, Preference and In Sacco Degradation of Eight Different Fodder Tree Leaves. *West Afr. J. Appl. Ecol.*, 29, 12–23.
- Sauvant, D., & Giger-Reverdin, S. (2007). Empirical modelling by meta-analysis of digestive interactions and CH₄ production in ruminants. In *Energy and protein metabolism and nutrition* (p. 559-562). Wageningen Academic. https://doi.org/10.3920/9789086866137_212

- Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., Serment, A. A., & Broudiscou, L. (2011). Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants. *INRA Productions Animales*, 24(5), 433-446. <https://hal.science/hal-01561700>
- Savadogo, P., Tigabu, M., Sawadogo, L., & Odén, P. C. (2009). Herbaceous phytomass and nutrient concentrations of four grass species in Sudanian savanna woodland subjected to recurrent early fire. *African Journal of Ecology*, 47(4), 699-710. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2008.01027.x>
- Scheiter, S., & Savadogo, P. (2016). Ecosystem management can mitigate vegetation shifts induced by climate change in West Africa. *Ecological Modelling*, 332, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.03.022>
- Séguin, J., Berry, P., Bouchet, V., Clarke, K.-L., Furgal, C., Environmental, I., & MacIver, D. (2008). Human health in a changing climate: A Canadian assessment of vulnerabilities and adaptive capacity. *Human health in a changing climate*, 1.
- Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Rashamol, V. P., Pragna, P., Devaraj, C., Bhatta, R. (2019). Genes for resilience to heat stress in small ruminants: A review. *Small Rumin Research*, 173, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.02.009>
- Sejian, V., Bhatta, R., Soren, N. M., Malik, P. K., Ravindra, J. P., Prasad, C. S., & Lal, R. (2015). Introduction to Concepts of Climate Change Impact on Livestock and Its Adaptation and Mitigation. In V. Sejian, J. Gaughan, L. Baumgard, & C. Prasad (Éds.), *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer, 1-23. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_1
- Sejian, V., Lal, R., Lakritz, J., & Ezeji, T. (2011). Measurement and prediction of enteric methane emission. *International Journal of Biometeorology*, 55(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0356-7>
- Seketeme, M., Madibela, O. R., Khumoetsile, T., & Rugoho, I. (2022). Ruminant contribution to enteric methane emissions and possible mitigation strategies in the Southern Africa Development Community region. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 27(7), 47. <https://doi.org/10.1007/s11027-022-10026-5>
- Sewadé, C. (2016). Diversité. Biomasse foliaire des ligneux fourragers et capacité de charge des terres de parcours des zones de transition Guinéo-Congolaise/Soudanienne du Bénin,

Thèse de doctorat, Université d'Abomey Calavi, 242p.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29960.57602>

Sèwadé, C., Azihou, A. F., Fandohan, A. B., Houéhanou, T. D., & Houinato, M. (2016). Diversité, priorité pastorale et de conservation des ligneux fourragers des terres de parcours en zone soudano-guinéenne du Bénin. *Biotechnol. Agron. Société Et Environ.*, 20, 113–129.
<https://doi.org/10.25518/1780-4507.12823>

Sharifian, A., Niknahad–Gharmakher, H., Foladizada, M., Tabe, A., & Shackleton, R. T. (2023). Socio-ecological evidence highlights that native *Prosopis* species are better for arid land restoration than non-native ones. *Restoration Ecology*, 31(2), e13756.
<https://doi.org/10.1111/rec.13756>

Shidiki, A. A., Tchamba, N. M., Pamo, T. E. (2017). The perception of small ruminant grazers and stakeholders in the sustainable management of biological resources in the Mt, Oku forest reserve northwest region, Cameroon. *International Journal of Development and Sustainability*, 6 (11), 1743-1756.

Shilja, S., Sejian, V., Bagath, M., Mech, A., David, C., Kurien, E., Varma, G., Bhatta, R. (2016). Adaptive capability as indicated by behavioral and physiological responses, plasma hsp70 level, and pbmc hsp70 mrna expression in osmanabadi goats subjected to combined (heat and nutritional) stressors. *Int J Biometeorol*, 60, 1311–1323. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1124-5>

Sidi Imorou, H., Babatounde, S., Sidi Imorou, F., & Mensah, G. A. (2016). Ligneux fourragers des parcours naturels communautaires du Nord-Bénin : Prédiction de la valeur nutritive au moyen de plusieurs approches analytiques. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 29(1), 4537-4552. <https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2016/06/4.Sidiimorou.pdf>

Silanikove, N. (2000). The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Rum. Res.*, 35, 181-193. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00096-6)

Silanikove, N., Koluman, N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Rumin. Res.*, 123, 27–34.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.11.005>

Singh, G., Singh, R., Verma, P. K., Singh, R., & Anand, A. (2016). Anthelmintic efficacy of aqueous extract of *Zanthoxylum armatum* DC. seeds against *Haemonchus contortus* of small

ruminants. *Journal of Parasitic Diseases*, 40(2), 528-532. <https://doi.org/10.1007/s12639-014-0540-5>

Sinsin, B., Kampmann, D. (2010). Biodiversity Atlas of West Africa. Vol I, Benin, ISBN 978-3-98113933-0-9

Sitou, M. I., Mouctari, O. M. M., Guimbo, I. D., Saidou, O., Chaibou, M. (2023). Preference of the Main Spontaneous Forage Herbaceous Natural Pastures in Central West Niger. *GSC Adv. Res. Rev.*, 14, 141–150. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2023.14.1.0025>

Sitou, M. I., Rabiou, H., Maman Nassirou, A. D. O., Guimbo, I. D., Malam, M. O. M., & Chaibou, M. (2020). Perception paysanne des indicateurs édapho-biologiques et facteurs de dégradation des aires de pâturages naturels du Centre Ouest du Niger, Afrique de l'Ouest Sahélienne. *Afrique Science*, 17(6), 91-104.

Smeti, S., Atti, N., Mahouachi, M., & Mednini, S. (2012). Effets de la nature du fourrage sur l'ingestion, la digestibilité et la croissance chez des agneaux en finition de races Barbarine et Noire de Thibar. *Livestock Research for Rural Development*, 24(1).

Soliva, C. R., Meile, L., Cieślak, A., Kreuzer, M., & Machmüller, A. (2004). Rumen simulation technique study on the interactions of dietary lauric and myristic acid supplementation in suppressing ruminal methanogenesis. *British Journal of Nutrition*, 92(4), 689-700. <https://doi.org/10.1079/bjn20041250>

Sorg, D. (2022). Measuring livestock CH₄ emissions with the laser methane detector. *Rev Methane*, 1:38–57. <https://doi.org/10.3390/methane1010004>

Soumana, I., Biga, I., & Mahamane, A. (2024). Potentiel fourrager des arbres et arbustes en Afrique de l'Ouest : Synthèse bibliographique. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 42(1), 113-130.

Soumana, I., Biga, I., & Mahamane, A. (2024). Potentiel fourrager des arbres et arbustes en Afrique de l'Ouest : Synthèse bibliographique. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 42(1), 113-130.

Sow, F., Camara, Y., Traore, E. H., Cabaraux, J.-F., Missohou, A., Antoine-Moussiaux, N., Hornick, J.-L., & Moula, N. (2021). Characterisation of smallholders' goat production systems in the Fatick area, Senegal. *Pastoralism*, 11(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s13570-021-00195-4>

Tambo, J. A., Abdoulaye, T. (2013). Smallholder farmers' perceptions of and adaptations to climate change in the Nigerian savanna. *Reg Environ Change*, 13(2), 375-388. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0351-0>

Tarawali, S. A., Singh, B. B., Gupta, S. S., Tabo, R., Harris, F., Nokoe, S., Fernandez-Rivera, S., Bationo, A., Manyong, V. M., & Makinde, K. (2003). *Cowpea as a key factor for a new approach to integrated crop–livestock systems research in the dry savannas of West Africa*. <http://oar.icrisat.org/id/eprint/8758>

Tavendale, M. H., Meagher, L. P., Pacheco, D., Walker, N., Attwood, G. T., & Sivakumaran, S. (2005). Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 403-419. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.037>

Tchetan, E., Olounlade, A. P., Houehanou, T. D., Azando, E. V. B., Kaneho, J. A., Houinato, M. R. B., Hounzangbe-Adote, S. M., Quetin-Leclercq, J., & Gbaguidi, F. A. (2021). Ethnoveterinary knowledge of sheep and goat farmers in Benin (West Africa): Effect of socioeconomic and environmental factors. *Heliyon*, 7(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07656>

Tchetan, E., Olounladé, P. A., Azando, E. V. B., Khaliq, H. A., Ortiz, S., Houngbeme, A., Alowanou, G., Koura, B. I., Akouedegni, G. C., & Houinato, M. R. B. (2022). Anthelmintic activity, cytotoxicity, and phytochemical screening of plants used to treat digestive parasitosis of small ruminants in Benin (West Africa). *Animals*, 12(19), 2718. <https://doi.org/10.3390/ani12192718>

Tedeschi, L. O., Abdalla, A. L., Álvarez, C., Anuga, S. W., Arango, J., Beauchemin, K. A., Becquet, P., Berndt, A., Burns, R., De Camillis, C., Chará, J., Echazarreta, J. M., Hassouna, M., Kenny, D., Mathot, M., Mauricio, R. M., McClelland, S. C., Niu, M., Onyango, A. A., ... Kebreab, E. (2022). Quantification of methane emitted by ruminants: A review of methods. *Journal of Animal Science*, 100(7). <https://doi.org/10.1093/jas/skac197>

Tedeschi, L. O., Muir, J. P., Naumann, H. D., Norris, A. B., Ramírez-Restrepo, C. A., & Mertens-Talcott, S. U. (2021). Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 628445. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.628445>

Tendonkeng, F., Touko, A. H., Noubissi, M. N. B., Miegoue, E., Sawa, C., Essie, F. M., Mboko, A. V., Tovignon, G. V., Nde, A. N., Tedonkeng, E. P. (2021). Perceptions and Adaptation Strategies for Climate Change from Small Ruminant Farmers in North-West Cameroon. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3475>

Tensaba, R. S., Kiema, A., Zongo, M., & Bidigne, L. (2022). Analyse des pratiques paysannes de reproduction et d'exploitation des petits ruminants en zone périurbaine de la ville de Kaya. *J.Anim.Plant Sci.*, 53 (2), 9712-9726. ISSN 2071-7024

Tensaba, R. S., Kiema, A., Zongo, M., Gnanda, B. I., & Tiema, A. K. P. (2023). Ressources alimentaires et stratégies d'alimentation des petits ruminants en Région Centre-Nord du Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 182, 19007-19017. <https://doi.org/10.35759/JABs.182.3>

Terefe, G., Faji, M., & Mengistu, G. (2022). Nutritional value and in situ degradability of selected forages, browse trees and agro industrial by-products. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 12, 97-102. <http://eprints.science-line.com/id/eprint/651/>

Tetteh, B. K. D., Ansah, G. K. I., Donkoh, S. A., Appiah-Twamasi, M., Ovoronyo, F. K., Shaibu, M. T., Partey, S., Zougmore, R. B., Tengan, K., Nyuor, A., Afosah, E., Akufo, N. M. Perceptions of weather variability and climate change on goat producers' choice of coping and adaptation strategies: evidence from climate-smart and non-climate-smart villages in the Jirapa and Lawra districts. *Climate and Development*, 12(7), 614-625. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1664975>

Thamina, D. N., Kahumba, A., Shipandeni, M. N. T., Lutaaya, E., & Mpofu, I. D. T. (2020). Preference of Boer goats for Namibian native forage legumes and Lucerne (*Medicago sativa*). *Animal Production Science*, 60(4), 567-572. <https://doi.org/10.1071/AN17387>

Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agric. Syst.*, 101, 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>

Tilahun, M., Angassa, A., & Abebe, A. (2017). Community-based knowledge towards rangeland condition, climate change, and adaptation strategies: The case of Afar pastoralists. *Ecological Processes*, 6(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0094-4>

- Timpong-Jones, E. C., Samuels, I., Sarkwa, F. O., Oppong-Anane, K., Majekodumni, A. O. (2023). Transhumance Pastoralism in West Africa—Its Importance, Policies and Challenges. *Afr. J. Range Forage Sci.*, 40(1), 114–128. <https://doi.org/10.2989/10220119.2022.2160012>
- Toko, I., & Sinsin, B. (2011). Facteurs déterminant la variabilité spatiale de la biomasse herbacée dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(3). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i3.72180>
- Toléba, S. S., Youssao, A. K. I., Dahouda, M., Missainhoun, U. M. A., & Mensah, G. A. (2009). Identification et valeurs nutritionnelles des aliments utilisés en élevage d'aulacodes (*Thryonomys swinderianus*) dans les villes de Cotonou et Porto-Novo au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 64, 1-10.
- Torralba, M., Fagerholm, N., Hartel, T., Moreno, G., & Plieninger, T. (2018). A social-ecological analysis of ecosystem services supply and trade-offs in European wood-pastures. *Science Advances*, 4(5), eaar2176. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar2176>
- Touré, S. (1977). La trypanotolérance. Revue de connaissances. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 30(2), 157-174. <https://doi.org/10.19182/remvt.8093>
- Tugjamba, N., Walkerden, G., & Miller, F. (2023). Adapting nomadic pastoralism to climate change. *Climatic Change*, 176(4), 28. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03509-0>
- Turner, M. D., McPeak, J. G., Ayantunde, A. (2014). The Role of Livestock Mobility in the Livelihood Strategies of Rural Peoples in Semi-Arid West Africa. *Hum. Ecol.*, 42, 231–247. <https://doi.org/10.1007/s10745-013-9636-2>
- Uddin, M. N., Bokelmann, W., Dunn, E. S. (2017). Determinants of Farmers' Perception of Climate Change: A Case Study from the Coastal Region of Bangladesh. *American Journal of Climate Change*, 6, 151-165. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61009>
- UNDP (United Nations Development Program). (2015). National Report on Human Development: Agriculture food security and human development in Benin. New York. <https://hdr.undp.org/content/national-human-development-report-benin-2015>
- Ünlü, H. B., Kirkpınar, F., & Özdoğan, M. (2022). Nutritional evaluation of the agro-industrial by-products and waste fruits-vegetable for sustainable ruminant nutrition. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73(1), 3657-3666. <https://doi.org/10.12681/jhvms.25386>

Valerien, Z., Ferdinan, A., Tchemadon, G., Afouda, L., & Gagnon, F. (2017). Inventaire des principales maladies du manguier dans les savanes soudanienne et nord guinéenne du Bénin. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.*, 7(1), 25-31.

Vall, E., Salgado, P., Corniaux, C., Blanchard, M., Dutilly, C., & Alary, V. (2014). Changements et innovations dans les systèmes d'élevage en Afrique. *INRAE Productions Animales*, 27(2). <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2014.27.2.3064>

Van Dijk, H. (1997). Risk, agro-pastoral decision making and natural resource management in Fulbe society, central Mali. *Nomadic Peoples*, 1(1), 108-132. <https://doi.org/10.3167/082279497782384721>

Van Dyne, G. M. Heady, H. F. (1965). Interrelations of Botanical and Chemical Dietary Components of Animals Grazing Dry Annual Range. *J. Anim. Sci.*, 24, 305–312. <https://doi.org/10.2527/jas1965.242305x>

Vasta, V., Daghighi, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A., Viti, C., & Mele, M. (2019). Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3781-3804. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14985>

Vasta, V., Nudda, A., Cannas, A., Lanza, M., & Priolo, A. (2008). Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1-3), 223-246. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.020>

Ventura-Cordero, J., González-Pech, P. G., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Tun-Garrido, J. (2017). Sheep and Goat Browsing a Tropical Deciduous Forest during the Rainy Season: Why Does Similar Plant Species Consumption Result in Different Nutrient Intake? *Anim. Prod. Sci.*, 59, 66–72. <https://doi.org/10.1071/AN16512>

Ventura-Cordero, J., Sandoval-Castro, C. A., Torres-Acosta, J. F. J., Capetillo-Leal, C. M. (2017). Do Goats Have a Salivary Constitutive Response to Tannins? *J. Appl. Anim. Res.*, 45, 29–34. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1102728>

Vermorel, M., Jouany, J. P., Eugène, M., Sauvant, D., Noblet, J., & Dourmad, J.-Y. (2008). Evaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France. *INRAE Productions Animales*, 21(5), 403-418. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2008.21.5.3415>

Vissin, E., Kosmowski, F., Boko, M. (2012). Climate change challenges in Benin. *Konrad Adenauer Programme for Political Dialogue in West Africa*, 72p.

Volpato, G., & Puri, R. (2014). Dormancy and Revitalization: The fate of ethnobotanical knowledge of camel forage among Sahrawi nomads and refugees of Western Sahara. *Ethnobotany Research & Applications* 12,183-210. <http://hdl.handle.net/10125/34001>

W. F. P (World Food Program). (2014). Global analysis of the situation of vulnerability for food security in Benin Republic. 171p. <https://reliefweb.int/report/benin/r-publique-du-b-nin-analyse-globale-de-la-vuln-rabilit-et-de-la-s-curit-alimentaire>

Whannou, H. R. V., Afatondji, C. U., Ahozonlin, M. C., Spanoghe, M., Lanterbecq, D., Demblon, D., Houinato, M. R. B., & Dossa, L. H. (2021). Morphological variability within the indigenous sheep population of Benin. *PloS one*, 16(10), e0258761. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258761>

Whannou, H. R. V., Afatondji, C. U., Linsoussi, C. A., Favi, G. A., Nguyen, T. T., Houinato, M. R. B., & Dossa, L. H. (2022). Morphological characterization and habitat suitability modeling of the goat population of Benin under climate change scenarios. *Ecological Processes*, 11(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s13717-022-00392-y>

Whannou, H. R. V., Spanoghe, M., Dayo, G.-K., Demblon, D., Lanterbecq, D., & Dossa, L. H. (2023). Genetic diversity assessment of the indigenous goat population of Benin using microsatellite markers. *Frontiers in Genetics*, 14, 1079048. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1079048>

Whannou, H. R. V., Spanoghe, M., Vanvanhossou, S. F. U., Marique, T., Lanterbecq, D., & Dossa, L. H. (2022). Genetic diversity and spatial structure of indigenous sheep population of Benin revealed by microsatellite markers. *Ecological Genetics and Genomics*, 25, 100136. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2022.100136>

Williams, P. A., Crespo, O., Abu, M., Simpson, N. P. (2018). A systematic review of how vulnerability of smallholder agricultural systems to changing climate is assessed in Africa. *Environ. Res. Lett.*, (13), 20p. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae026>

Wilson, R. T. (1986). *Systèmes de production des petits-ruminants en Afrique*. CIRAD-IEMVT <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-cirad-fr-431139/Description>

Wilson, R. T. (1988). *La production animale au Mali central : Études à long terme sur les bovins et les petits ruminants dans le système agropastoral*. ILRI, Vol 14.

Witzig, M., Zeder, M., & Rodehutsord, M. (2018). Effect of the ionophore monensin and tannin extracts supplemented to grass silage on populations of ruminal cellulolytics and methanogens in vitro. *Anaerobe*, 50, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.01.012>

Worogo, S. S. H., Idrissou, R., Assani, S. A., Adjassin, J. S., Azalou, M., Assogba, B. G. C., Idrissou, Y., Alabi, C. D. A., Alkoiret, I. T. (2020). Towards community-based in situ conservation strategies: a typological analysis of Borgou cattle herding systems in North eastern Benin. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 1055–1064. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02101-y>

Yáñez-Ruiz, D. R., Bannink, A., Dijkstra, J., Kebreab, E., Morgavi, D. P., O'Kiely, P., Reynolds, C. K., Schwarm, A., Shingfield, K. J., & Yu, Z. (2016). Design, implementation and interpretation of in vitro batch culture experiments to assess enteric methane mitigation in ruminants—A review. *Animal Feed Science and Technology*, 216, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.016>

Yáñez-Ruiz, D., Martín-García, I., Hart, K., Molina-Alcaide, E., & Newbold, C. (2010). Cellulolytic activity in the rumen of lambs fed a high concentrate diet is not affected by the removal of protozoa. *Proceedings of the 12th Seminar of the FAOCIHEAM Sub-Network on Sheep and Goat Nutrition*, Thessaloniki, Greece, 251-254. <http://hdl.handle.net/2160/4467>

Yang, K., Wei, C., Zhao, G. Y., Xu, Z. W., & Lin, S. X. (2017). Effects of dietary supplementing tannic acid in the ration of beef cattle on rumen fermentation, methane emission, microbial flora and nutrient digestibility. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(2), 302-310. <https://doi.org/10.1111/jpn.12531>

Yaovi, R., Hien, M., Kaboré, A., Sehoubo, Y., & Somda, I. (2021). Utilisation et vulnérabilité des espèces végétales et stratégies d'adaptation des populations riveraines de la Forêt Classée du Kou (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15, 1140-1157. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i3.22>

Yegbemey, R. N., Yabi, J. A., Aïhounton, G. B., Paraïso, A. (2014). Simultaneous modelling of the perception of and adaptation to climate change: The case of the maize producers in northern Benin. *Cah. Agric.*, 23(3), 177–187. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0697>

Yigzaw, G., Dida, M., & Mengistu, G. (2022). Nutritional value and in situ degradability of selected forages, browse trees and agro industrial by-products. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 97-102. <https://doi.org/10.51227/ojafr.2022.13>

Youssoufou, S., Sangare, M., Tinguéri, B. L., Sawadogo, L., & Kabore-Zoungrana, C. Y. (2021). Effet de l'utilisation de quatre rations à base de *Panicum maximum* C1 sur les performances zootechniques des ovins de race Djallonké, à l'Ouest du Burkina Faso. *Sciences de la vie, de la terre et agronomie*, 8(2). <http://publication.lecames.org/index.php/svt/article/view/2137>

Yusuf, A., Aruwayo, A., Muhammad, I. R. (2018). Characterisation of Small Ruminant Production Systems in Semi-Arid Urban Areas of Northern Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, Vol. 22 (5), 725 – 729. <https://doi.org/10.4314/jasem.v22i5.18>

Yusuf, K. O., Ajeigbe, O. M., Oyebo, A. T., Aderinboye, R. Y., & Onwuka, C. F. I. (2017). Nutrients and anti-nutrients content of some crop by-products and residues for ruminant feeding in Nigeria. *Journal of Animal Production Research*, 29(1), 321-334.

Zabré, G., Kaboré, A., Bayala, B., Patricia Spoto, C., Leandro, N. L., Niderkorn, V., Tamboura, H. H., Hoste, H., Louvandini, H., Abdalla, A. L. (2018). In vitro rumen fermentation characteristics, methane production and rumen microbial community of two major *Acacia* species used in Sahelian region of Burkina Faso. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 21:357–366. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2527>

Zakari, S., Arouna, O., Toko, I. I., Yabi, I., & Tente, B. A. H. (2017). Impact des changements climatiques sur la distribution de deux espèces ligneuses fourragères (*K. senegalensis* et *Azelia africana*) dans le bassin versant de la Sota, Bénin. *Afrique Science*, 13(3), 1-14.

Zampaligré, N., Dossa, L. H., & Schlecht, E. (2013). Contribution of browse to ruminant nutrition across three agro-ecological zones of Burkina Faso. *Journal of Arid Environments*, 95, 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.03.011>

Zampaligré, N., Dossa, L. H., & Schlecht, E. (2014). Climate change and variability: Perception and adaptation strategies of pastoralists and agro-pastoralists across different zones of Burkina Faso. *Regional Environmental Change*, 14(2), 769-783. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0532-5>

Zan, A., Sawadogo, B., Bonkougou, J., & Some, Y. S. C. (2024). Climate Perceptions of Small Ruminant Farmers in the Mouhoun Province of Burkina Faso. *International Journal of*

Environment and Climate Change, 14(5), 233-243.
<https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i54184>

Zanou, M. A. M., Zannou, A., Aoudji, A. K. N., Houinato, M. R. B., & Dossa, L. H. (2024). Hedonic analysis of attributes and factors affecting small ruminant price in Benin, West Africa. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101178.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101178>

Zanou, M. A. M., Zannou, A., Dossa, L. H., Antoine-Moussiaux, N., Aoudji, A. K. N., Voronine, V., Demblon, D., Houinato, M. R. B. (2023). Market Structure, Trader Behaviour and Performance of Small Ruminants Marketing in Benin, West Africa. *Cogent Food Agric.*, 9, 2184934. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2184934>

Zanou, M., Aoudji, A., Dossa, L., Demblon, D., & Marcel, H. (2022). Caractérisation et diversité des systèmes d'élevage de petits ruminants au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 32(2), 23-41.

Zhao, Y., Nan, X., Yang, L., Zheng, S., Jiang, L., & Xiong, B. (2020). A review of enteric methane emission measurement techniques in ruminants. *Animals*, 10(6), 1004.
<https://doi.org/10.3390/ani10061004>

Zhou, M., Chung, Y.-H., Beauchemin, K. A., Holtshausen, L., Oba, M., McAllister, T. A., & Guan, L. L. (2011). Relationship between rumen methanogens and methane production in dairy cows fed diets supplemented with a feed enzyme additive. *Journal of applied microbiology*, 111(5), 1148-1158. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05126.x>

Zinsalo, R., Akouehou, G., Kindomihou, V., & Sinsin, B. (2017). Facies de végétation et caractérisation pastorale des agrosystèmes à *Elaeis guineensis* dans le périmètre Zè-Allada-Toffo au Sud-Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(3), 1135-1144. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i3.17>

Zizinga, A., Kangalawe, R. Y M., Ainslie, A., Tenywa, M. M., Majaliwa, J., Saronga, N.J., Amoako, E. E. Analysis of farmer's choice for climate change adaptation practices in South-Western Uganda 1980-2009. *Climate*, 5(4), 89. <https://doi.org/10.3390/cli5040089>