

**Caractéristiques des élevages caprins et efficacité d'utilisation digestive des
fourrages chez deux races de chèvres locale (sahélienne) et importée
(majorera) dans la région de Fatick (Sénégal)**

**Characteristics of goat farming and efficiency of digestive use of fodder in two breeds
of goats, local (Sahelian) and imported (Majorera) in the Fatick area (Senegal)**



Fafa SOW

**Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences Vétérinaires**

ANNEE ACADEMIQUE 2021-2022



**UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DE MEDECINE VETERINAIRE
DEPARTEMENT DE GESTION VETERINAIRE DES RESSOURCES ANIMALES
SERVICE DE NUTRITION DES ANIMAUX DOMESTIQUES**

**Caractéristiques des élevages caprins et efficacité d'utilisation digestive des
fourrages chez deux races de chèvres locale (sahélienne) et importée
(majorera) dans la région de Fatick (Sénégal)**

Characteristics of goat farming and efficiency of digestive use of fodder in two
breeds of goats, local (Sahelian) and imported (Majorera) in the Fatick area
(Senegal)

Fafa SOW

**Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences Vétérinaires**

ANNEE ACADEMIQUE 2021-2022

Thèse financée par le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest



Avec le soutien de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur



De l'Université de Liège



Et de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA)



Remerciements

A travers ces lignes, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la concrétisation de ce projet. Cette thèse a pu être menée à terme grâce aux collègues du CRZ à travers le directeur sortant Dr Sidy Mamadou BA pour leur encouragement, aux acteurs de l'élevage caprin (éleveurs, techniciens, ONG et Projets de développement) pour leur disponibilité et leur participation active à la collecte de données, à l'équipe d'appui au Sénégal, au comité de thèse en Belgique et à l'ensemble du personnel du département des productions animales pour le suivi rapproché et les remarques tout au long de ce travail. Les discussions et les échanges avec chacun de vous m'ont permis de tracer le fil conducteur de ce projet de thèse pour une meilleure compréhension de la problématique.

Je dis merci particulièrement:

A Jean-Luc HORNICK, Mon promoteur. Ces cinq années avec toi ont été une grande école du savoir vivre avec l'autre dans le respect de la dignité humaine, mais surtout du savoir-faire avec responsabilité. Chaque jour qui passe, j'apprenais des nouvelles choses à tes côtés. Tu n'as ménagé aucun effort pour m'orienter sur la ligne de conduite d'un bon scientifique. Je n'arrêtais pas à te faire réfléchir en t'envoyant des idées moins élaborées (je suis désolé au passage de ce que cela a créé comme désagréments et émotions). Tu resteras une référence pour moi qui continuera à m'inspirer, comme tu l'as toujours fait avec ceux qui m'ont précédé. Parallèlement à cette thèse, tu as voulu, sans ménager tes efforts, m'accompagner dans l'exécution de deux projets Synergie au Sénégal financé par l'ARES. Merci Jean-Luc pour toute la confiance !

A Ayao MISSOHOU, mon Co-promoteur. Toujours à mes côtés pour mon encadrement, d'abord pour ma thèse d'exercice en médecine vétérinaire, ensuite mon projet d'entrée à l'ISRA pour ma carrière de chercheur et te voilà encore une fois pour mon PhD. Par tes éclairages et tes conseils tu as contribué énormément à ce travail de recherche. Merci infiniment !

A Jean-François CABARAUX et Nassim MOULA, membres du comité de thèse. Je vous remercie très sincèrement d'avoir accepté d'être membre de mon comité de thèse et d'avoir pris votre temps précieux pour corriger chaque étape de ce travail. Votre retour nous a permis d'améliorer ce document. Trouvez ici toute ma profonde gratitude.

A Nicolas Antoine MOUSSIAUX, merci pour l'accompagnement, les conseils et le temps que tu m'as consacré pour la réalisation de ce travail. Ce travail est aussi le tien.

Au Président et membres du jury. Nous vous remercions d'avoir accepté de juger ce travail et d'avoir consacré beaucoup de votre temps pour assister en ligne à notre défense.

A Frédéric FARNIR, Marianne DIEZ, Evelyne MOISE et Pascal LEROY, merci pour les conseils et l'appui aux analyses statistiques.

A Rémy SCHIFFELEERS et Dominique MOREL :

Ne trouvant de mots adéquats pour vous remercier, je tiens à travers ces lignes vous témoigner que vos actions de générosité, d'humanisme envers ma personne resteront toujours inoubliables pour moi et ma famille. Vous n'avez ménagé aucun effort pour m'appuyer de tout bord pour que je puisse traverser les moments difficiles en Belgique et réussir ce projet de PhD. MERCI POUR TOUT!

A Alioune FALL, DG sortant de l'ISRA et son staff. Depuis le démarrage de cette thèse tu n'as jamais cessé de me soutenir et de m'encourager dans les moments d'incertitude, de découragement et de questionnement, surtout durant l'année 2020 avec la pandémie covid 19. Merci Directeur.

A El Hadji TRAORE et Younouss CAMARA. Nous sommes reconnaissant de votre détermination et sacrifice pour que cette thèse puisse aboutir. Merci beaucoup !

A Momar Talla SECK, DG actuel de l'ISRA et la direction du LNERV. Merci pour votre appui et facilitation, sans lesquels mes essais de digestibilité à Sangalkam ne réaliseront jamais.

Et enfin mes compagnons de route: Benoît, Younouss, Josiane, Francis, Victor, Ouatif, Madi, Abdoulaye, Marilyne et Soumaya BOUKROUH pour tous ces moments agréables passés ensemble. Nos échanges ont grandement contribué à l'élaboration de ce travail. Merci !

**A ma famille,
Pour votre patience
A ma mère et à la mémoire de mon père**

« Tout obstacle renforce la détermination. Celui qui s'est fixé un but n'en change pas »

(Léonard de Vinci, Détermination)

Liste des Abréviations

(%) : *pourcentage*

ACP: *analyse en composantes principales*

ADF : *acid detergent fiber*

ADL : *acid detergent of lignin*

AGI : *acides gras insaturés*

AGS : *acides gras saturés*

AGV : *acides gras volatils*

AMOVA : *analysis of molecular variance*

ANOSIM : *analysis of similarity*

ANOVA : *analysis of variance*

ANP : *azote non protéique*

ANSD : *Agence nationale de la statistique et de la démographie*

AO : *Afrique de l'Ouest*

AOAC : *Association of Official Analytical Chemists*

ARECAP : *Association Régionale des Eleveurs Caprins*

ARN : *acide ribonucléique*

ASS : *Afrique subsaharienne*

CEDEAO : *Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest*

CI : *capacité d'ingestion*

CP : *crude protein*

CSAO : *Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest*

CUDa : *coefficient d'utilisation digestive ou coefficient de digestibilité apparent*

CUDr : *coefficient d'utilisation digestive ou coefficient de digestibilité réel*

d : *day*

dE : *apparent energy digestibility coefficient*

DE : *digestible energy*

DM : *dry matter*

DNA : *desoxyribonucléic acid*

ECH₄ : *energy lost as methane*

EM : *énergie métabolisable*

FAO: *Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture*

FCFA: *franc de la Communauté financière africaine*

FE : *faecal energy*

FN : *faecal nitrogen*

g : *gramme*

GE : *gross energy*

GERAD : *Groupe d'Etude, de Recherche et d'Aide au Développement*

GMQ : *gain moyen quotidien*

HCA : *hierarchical classification analysis*

HCPC : *hierarchical Classification on Principal Components*

INRA : *Institut national de la recherche agronomique*

j : *jour*

kcal : *kilocalories*

kg : *kilogramme*

kg^{0,75} : *Metabolic weight*

klm : *efficacité de l'utilisation de l'énergie pour la lactation et l'entretien*

L : *litre*

LW : *Live weight*

M : *Majorera*

MAT : *matière azotée totale*

MCA : *Multiple Correspondence Analysis*

ME : *Metabolizable Energy*

MEPA : *Ministère de l'Elevage et des Productions Animales*

MG : *matière grasse*

MJ : *méga Joule*

mL : *millilitre*

mmol : *millimole*

MN : *Milk Nitrogen*

MO : *matière organique*

MOD : *matière organique digestible*

MOF : *matière organique fermentescible*

MO_nF : *matière organique non fermentescible*

MS : *matière sèche*

ND : *Nitrogen Digestibility*

NDF : *Neutral Detergent Fiber*

NE : *Net Energy*

NEI : *Net Energy for Milk*

NH₃ : *ammoniac*

Ni: *Nitrogen Intake*

NMDS : *Non-Metric Multidimensional Scaling*

NR : *Nitrogen Retained*

NuE : *Nitrogen Use Efficiency*

OCDE : *Organisation de coopération et de développement économiques*

ONG : *organisation non gouvernementale*

OTUs : *Operational Taxonomic Unit*

PAFC: *Projet d'Appui à la Filière Caprine*

PB : *protéine brute*

PCR : *Polymerase Chain Reaction*

PDI : *Protéines Digestibles dans l'Intestin*

PDIA : *Protéine digestible dans l'intestin d'origine alimentaire*

PDIE : *Protéines Digestibles dans l'Intestin permise par l'énergie*

PDIF : *Programme de Développement Intégré de Fatick*

PDIM : *Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Microbienne*

PDIME : *Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Microbienne permise par l'énergie*

PDIMN : *Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Microbienne permise par l'azote*

PDIN : *Protéines Digestibles dans l'Intestin permise par l'azote*

PNIA : *Programme national d'investissement Agricole*

PRADELAIT : *Projet d'appui au développement de la filière lait*

PROMOFA : *Projet de modernisation des filières animales*

PSE : *Plan Sénégal Emergent*

PV : *Poids Vif*

rRNA : *Acide ribonucléique ribosomique*

S : *Sahélienne*

SD : *Standard Deviation*

TB : *Taux Butureux*

tonne : *tonne*

TP : *Taux Protéique*

UE : *energy lost in urine*

UFL : *Unité Fourragère Lait*

UN : *urinary nitrogen*

Composition du jury

Benjamin DEWALS (Université de Liège, Belgique).....	Président du jury
Prof. Jean-Paul DEHOUX (Université Catholique de Louvain, Belgique).....	Membre du jury
Prof. Simplicie Bosco AYSSIWEDE (Université de Dakar, Sénégal).....	Membre du jury
Jérôme BINDELLE (Université de Liège, Belgique).....	Membre du jury
Isabelle DUFRASNE (Université de Liège, Belgique).....	Membre du jury
Johanne DETILLEUX (Université de Liège, Belgique).....	Membre du jury
Véronique DELCENSERIE (Université de Liège, Belgique).....	Membre du jury
Nassim MOULA (Université de Liège, Belgique).....	Membre du Comité de Thèse
Jean-François CABARAUX (Université de Liège, Belgique).....	Membre du Comité de Thèse
Prof. Ayao Ogbloindjo MISSOHOU (Université de Dakar, Sénégal).....	Co-promoteur
Jean-Luc HORNICK (Université de Liège, Belgique).....	Promoteur

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	iv
LISTE DES BBRÉVIATIONS.....	viii
RÉSUMÉ-ABSTRACT.....	xviii
RÉSUMÉ.....	1
ABSTRACT.....	4
PRÉAMBULE GÉNÉRALE.....	7
1 INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	9
1.1 CONTEXTE DE L'ÉLEVAGE CAPRIN	9
1.2 HISTOIRE DE LA DOMESTICATION DE LA CHÈVRE	10
1.3 UTILISATION DIGESTIVE ET MÉTABOLIQUE DES ALIMENTS ET MICROBIOTE CHEZ LES CAPRINS 11	
1.3.1 Anatomie du tube digestif.....	11
1.3.2 Comportement alimentaire	11
1.3.3 Digestion, digestibilité et besoins des caprins	12
1.3.3.1 Digestion et Digestibilité	12
1.3.3.2 Besoins alimentaires	14
1.3.4 Le microbiote	14
1.4 PRINCIPALES RACES EXPLOITÉES AU SÉNÉGAL.....	16
1.4.1 Les races locales	16
1.4.1.1 Chèvre du sahel ou peul.....	16
1.4.1.2 Chèvre naine.....	16
1.4.2 Les races étrangères	17
1.4.2.1 La race Majorera.....	17
1.4.2.2 La race Saanen.....	18
1.4.2.3 La race Alpine	19
1.5 ENJEUX SOCIOÉCONOMIQUES ET POLITIQUES DU SECTEUR DE L'ÉLEVAGE SÉNÉGALAIS, PROBLÉMATIQUE ET CHOIX DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	20
1.5.1 Enjeux socioéconomiques et politiques du secteur de l'élevage sénégalais	20
1.5.2 Problématique et choix de la zone d'étude	21
1.5.3 Objectifs et Hypothèses.....	23
1.5.3.1 Objectifs	23
1.5.3.2 Hypothèses de recherche	24
1.6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	25
2 ETUDE 1: CHARACTERISATION OF SMALL-HOLDERS' GOAT PRODUCTION SYSTEMS IN THE FATICK AREA, SENEGAL.....	31
2.1 ABSTRACT.....	33
2.2 INTRODUCTION.....	34
2.3 MATERIALS AND METHODS	35
2.3.1 Study Area.....	35
2.3.2 Data Collection.....	35

2.3.3	<i>Statistical analysis</i>	35
2.4	RESULTS.....	37
2.4.1	<i>Socio-economic characteristics</i>	37
2.4.2	<i>Characteristics of goat flock and method of breeding</i>	38
2.4.3	<i>Motivation for keeping goats</i>	38
2.4.4	<i>Typology of the goat production systems</i>	38
2.4.4.1	Multiple Correspondence Analysis (MCA)	38
2.4.4.2	Ascending Hierarchical Classification and Group Description.....	42
2.5	DISCUSSION.....	45
2.5.1	<i>Socio-economic characterisation and goat production system</i>	45
2.5.2	<i>Characteristics of the goat flock, breeding mode and goat production system</i>	45
2.5.3	<i>Farmers motivations on the goat production system</i>	46
2.5.4	<i>Typology and goat production system</i>	46
2.6	CONCLUSION	47
2.7	RECOMMANDATIONS.....	47
2.8	ACKNOWLEDGMENTS	47
2.9	REFERENCES	48
3	ETUDE 2 : IDENTIFICATION DES PRATIQUES D'ÉLEVAGE CAPRIN LIÉES À L'AFFOURAGEMENT ET AU LOGEMENT ET VOIES D'AMÉLIORATION DANS LA RÉGION DE FATICK, BASSIN ARACHIDIER, SÉNÉGAL	50
3.1	RÉSUMÉ	52
3.2	ABSTRACT.....	53
3.3	INTRODUCTION.....	53
3.4	MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	54
3.4.1	<i>Approche globale</i>	54
3.4.2	<i>Zone d'étude</i>	55
3.4.3	<i>Echantillonnage</i>	55
3.4.4	<i>La collecte de données</i>	55
3.4.5	<i>Traitement des données</i>	58
3.5	RÉSULTATS	58
3.5.1	<i>Les principales raisons et contraintes de l'utilisation des différentes pratiques identifiées</i> 58	
3.5.2	<i>Les pratiques d'affouragements et de logements en élevage caprin</i>	61
3.5.3	<i>Relation entre les pratiques et les objectifs d'élevage</i>	63
3.5.4	<i>Classification hiérarchique et description des groupes</i>	64
3.6	DISCUSSION.....	65

3.6.1	<i>Contribution méthodologique à l'identification des pratiques et objectifs d'élevage caprins dans la zone d'étude</i>	65
3.6.2	<i>Pratiques et objectifs</i>	66
3.7	CONCLUSION.....	68
3.8	REMERCIEMENTS.....	68
3.9	RÉFÉRENCES	69
4	ETUDE 3: COMPARATIVE STUDY OF INTAKE, APPARENT DIGESTIBILITY, ENERGY, AND NITROGEN USES IN SAHELIAN AND MAJORERA DAIRY GOATS FED HAY OF VIGNA UNGUICULATA	71
4.1	ABSTRACT.....	73
4.2	INTRODUCTION.....	74
4.3	MATERIALS AND METHODS	75
4.3.1	<i>Experimental Protocol, Animal and Plant Material</i>	75
4.3.2	<i>Sample Collection and Chemical Analyses</i>	76
4.3.3	<i>Calculations and Statistical Analysis</i>	77
4.4	RESULTS.....	78
4.4.1	<i>Intake and Apparent Digestibility</i>	78
4.4.2	<i>Energy and Nitrogen Uses</i>	79
4.5	DISCUSSION.....	81
4.5.1	<i>Intake and Apparent Digestibility of Nutrients</i>	81
4.5.2	<i>Energy and Nitrogen Uses</i>	82
4.6	CONCLUSIONS	83
4.7	ACKNOWLEDGMENTS.....	83
4.8	REFERENCES	84
5	ETUDE 4: COMPARATIVE STUDY OF INTAKE, APPARENT DIGESTIBILITY AND FAECAL MICROBIOTA IN SAHELIAN AND MAJORERA LACTATING GOATS FED HAY OF VIGNA UNGUICULATA	87
5.1	ABSTRACT.....	89
5.2	INTRODUCTION.....	90
5.3	MATERIALS AND METHODS	91
5.3.1	<i>Experimental Protocol, Animal and Plant Material</i>	91
5.3.1.1	Digestibility: <i>Sample Collection and Chemical Analyses</i>	91
5.3.1.2	<i>Faecal microbial composition</i>	92
5.3.2	<i>Statistical analysis</i>	93
5.4	RESULTS.....	94
5.4.1	<i>Intake and Apparent Digestibility</i>	94
5.4.2	<i>Faecal microbiota analysis by 16S rRNA profiling</i>	95
5.4.3	<i>Bacteria associated with digestibility parameters</i>	99

5.5	DISCUSSION.....	100
5.5.1	<i>Intake and Apparent Digestibility of Nutrients</i>	100
5.5.2	<i>Faecal bacterial community study</i>	101
5.5.3	<i>Relationships between digestibility and faecal microbiota</i>	102
5.6	CONCLUSION.....	102
5.7	ACKNOWLEDGMENTS.....	102
5.8	REFERENCES	103
6	DISCUSSION GÉNÉRALE	108
6.1	JUSTIFICATION DE L'INTÉRÊT DE LA THÉMATIQUE ET DE L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ...	108
6.2	LIMITES DE L'APPROCHE	109
6.3	NÉCESSITÉ D'APPROCHES PARTICIPATIVES POUR PROMOUVOIR UN SYSTÈME D'ÉLEVAGE DURABLE	110
6.4	INGESTION ET DIGESTIBILITÉ APPARENTE DES NUTRIMENTS.....	112
6.5	UTILISATION DIGESTIVE DE L'ÉNERGIE ET DE L'AZOTE	114
6.6	COMMUNAUTÉ DE BACTÉRIES FÉCALES ET RACES	115
6.7	RELATION ENTRE LA DIGESTIBILITÉ ET LE MICROBIOTE FÉCAL	116
6.8	RELATION ENTRE LES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET LES APPROCHES PARTICIPATIVES DE NOTRE ÉTUDE.....	117
7	CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	121
7.1	CONCLUSION GENERALE	121
7.2	PERSPECTIVES	123
8	ANNEXES	131

Résumé - Abstract

Résumé

Les enjeux des productions animales dans les pays du Sud sont d'accroître la productivité, de préserver l'environnement, de maintenir le tissu rural, de lutter contre la pauvreté et de favoriser l'intégration économique. Ces points engagent fortement la Recherche au service du développement des productions animales. Au Sénégal, des mutations du contexte agricole ont progressivement entraîné une marginalisation de l'élevage, en particulier l'élevage caprin qui impose d'identifier de nouvelles stratégies d'adaptation de cette spéculation pour lui permettre d'être productive et au service des populations. Les grands programmes de développement de l'élevage se focalisent en effet surtout sur les grands ruminants. Cependant l'Etat encourage dans le secteur des petits ruminants, en particulier les chèvres, une amélioration génétique par recours à des races non indigènes, sans aucune mesures d'accompagnement, ni organisationnelles, ni techniques. Cette thèse vise à fournir des connaissances pouvant être utilisées pour orienter les programmes d'élevage caprins et favoriser l'amélioration de la productivité des races dans les systèmes de production à faibles intrants. Elle ambitionne de mieux comprendre les systèmes d'élevage des chèvres au Sénégal, et de mener des réflexions avec les éleveurs pour proposer les voies d'améliorations du secteur, tenant compte des considérations familiales, du contexte culturel et des règlementations sociopolitiques des institutions en place. Les exigences actuelles étant celles d'un élevage productif et durable, il convenait de comparer l'efficacité alimentaire de races autochtone (Sahélienne) et importée (Majorera) afin de préciser l'allocation des nutriments entre fonctions physiologiques de production et d'adaptation en milieu contraignant de chèvre. Par conséquent quatre études ont été réalisées.

La caractérisation des systèmes de production caprine d'élevages familiaux dans la région de Fatick, Sénégal, a constitué la première étude. Une enquête a été menée auprès de 45 agriculteurs dans quatre localités. Elle a révélé que les agriculteurs étaient tous des agro-pasteurs pratiquant un système d'agriculture mixte. La majorité (93 %) complémentaient leurs animaux avec des sous-produits agricoles, des ressources de l'agroforesterie et des restes de cuisine. Une analyse des correspondances multiples a permis d'identifier trois groupes : un premier, constitué de producteurs et transformateurs de lait en lait caillé traditionnel, pratiquant la vente d'animaux pour les besoins du ménage ; un second plus spécialisé de transformateurs de lait en yaourt et fromage ; et un troisième groupe, (agro-) pastoral, de vendeurs de chèvres.

L'identification de pratiques d'élevage caprin liées à l'affouragement et au logement et des perspectives d'amélioration dans la même région a concerné la deuxième étude. Des enquêtes ont été menées auprès de quatre-vingt (80) éleveurs (19% d'hommes et 81% de femmes), dans cinq villages. En fonction des pratiques et objectifs associés, une analyse des composantes principales a mis en évidence trois catégories d'éleveurs surnommés « Innovateurs – lait », « Innovateurs-intermédiaire » et « Tradition ». Les deux premiers groupes sont les plus importants (32,5 et 40%, respectivement). Le premier groupe utilise les pâturages naturels, les résidus agricoles, les ligneux naturels et dispose de

chèvreries. Ses membres donnent une importance particulière à ces pratiques pour atteindre des objectifs de production de lait. Le deuxième groupe privilégie les cultures fourragères et ligneuses et emploie des chèvreries, le tout associé à un objectif principal de production de fumure organique. Le troisième groupe a recours aux logements traditionnels associés à un élevage basé sur la vente d'animaux et la consommation de la viande. Toutefois, il est clairement apparu que les pratiques de logement en chèvrerie et d'alimentation à base de cultures fourragères, se rejoignent et synthétisent une volonté des éleveurs de « stabiliser » les chèvres à demeure, dans une chèvrerie proche de la maison, principalement pour protéger leurs animaux des intempéries. Les précipitations importantes lors de la saison des pluies, notamment, favorisent le développement de maladies et la mortalité, en particulier chez les jeunes.

Les études 3 et 4 ont visé à apporter des éléments de conseil zootechnique aux éleveurs. Elles ont comparé la race Majorera, qui présente une bonne performance de production laitière, à la race locale, chèvre du Sahel, des points de vue de l'efficacité d'utilisation digestive de l'énergie et de l'azote d'un fourrage local, le niébé fourrager, *Vigna unguiculata*, variété 58/74 de l'ISRA, et de leurs relations éventuelles avec le microbiote fécal comme élément éventuel d'explication de l'efficacité digestive des chèvres.

Il ressort de l'ensemble de ces résultats que les chèvres Majorera et Sahélienne présentaient des niveaux similaires d'ingestion de matière sèche (MS) ainsi que de digestibilité des nutriments. Sur la base du poids métabolique, la matière sèche ingérée, l'énergie brute ingérée, l'énergie digestible ingérée, l'énergie métabolisable, l'énergie nette ingérée, et l'énergie perdue sous forme de production de méthane étaient significativement plus élevées ($p < 0,01$) chez les chèvres allochtones que chez les chèvres Sahéliennes. L'excrétion urinaire d'énergie était similaire ($p = 0,9$) entre les races, tandis que la perte d'énergie fécale était plus élevée chez les chèvres Majorera que chez les chèvres Sahéliennes. La production d'énergie laitière des chèvres Majorera était plus élevée que celle des chèvres Sahéliennes ($p < 0,05$). Cependant, le rendement de conversion de l'énergie métabolisable en énergie nette (klm) n'a pas été affecté par la race ($p = 0,37$), tandis que l'ingestion d'azote, le rendement de conversion de l'azote en azote du lait et les pertes fécales en azote, relativement au poids métabolique, étaient significativement plus élevés ($p < 0,05$) chez les chèvres Majorera que chez les chèvres Sahéliennes. Par contre, la fraction d'azote alimentaire excrété dans l'urine était plus élevée chez les animaux de race Sahélienne. Le facteur de race n'a eu aucun effet sur la rétention d'azote, la digestibilité de l'azote, l'azote urinaire et l'efficacité d'utilisation de l'azote.

Le profilage de l'amplicon du gène de l'ARN ribosomique 16S a montré que l'abondance relative des phyla dans le microbiote fécal était similaire entre les races, mettant en évidence la dominance des phyla firmicutes représentant 94,4 % des séquences totales, suivis par les Actinobactéries avec 3,7 % des séquences. Les bacteroidetes représentaient 0,7 % des séquences totales. Les proportions de Lactobacillales, Erysipelotrichales et Bifidobactéries étaient plus élevées

chez les chèvres Majorera que chez les chèvres Sahéliennes ($p \leq 0,05$), à l'opposé des Elusimicrobiens ($p \leq 0,04$). Aucun effet significatif de la race sur la diversité bactérienne n'a été observé (R-ANOSIM = 0,198 ; $P = 0,082$). Cependant, sur les 284 genres identifiés dans nos échantillons, huit (08) genres de bactéries ont montré une différence entre races, à savoir les genres *Atopostipes*, *Bifidobacteriaceae_ge*, *Defluviitaleacea-UCG-011*, *Enteractinococcus*, *Lachnospiraceae-UCG-008*, *Muribaculaceae_ge* et *Roseburia* étaient significativement plus représentés chez les animaux de race allochtone ($p = 0,037$), à l'opposé de *Bacillus* ($p = 0,045$). En conclusion, les chèvres des deux races étaient similaires en termes d'efficacité énergétique et d'utilisation de l'azote, malgré une production laitière quotidienne et une consommation de matière sèche plus élevées chez les chèvres Majorera. Les chèvres étaient également similaires en termes de digestibilité de l'énergie et de l'azote, et de microbiote fécal.

En conclusion, la race Majorera est vraisemblablement plus dépendante d'une alimentation plus riche en énergie que la race Sahélienne comme le suggère un métabolisme basal supérieur.

Abstract

The challenges of animal production in Southern countries are to increase productivity, preserve environment, maintain rural manufacturing, fight against poverty and promote economic integration. These points strongly commit Research to development of animal production. In Senegal, changes in the agricultural context have gradually led to marginalisation of livestock farming, in particular goat farming, and this makes it necessary to identify new strategies for adapting this speculation in order to be productive and at the service of the population. Major livestock development programs focus mainly on large ruminants. However, in the small ruminant sector, particularly goats, the State encourages genetic improvement using non-indigenous breeds, without any accompanying measures, either organisational or technical. The aim of this thesis is to provide knowledge that could be used to guide goat breeding programs and to promote improved breed productivity in low-input production systems. It aims to gain better understanding of goat farming systems in Senegal, and to work with farmers to propose ways to improve the sector, taking into account family considerations, cultural context and socio-political regulations of the Institutions. As the current requirements are those of productive and sustainable livestock production, it was necessary to compare the feed efficiency of indigenous (Sahelian) and imported (Majorera) breeds in order to highlight the allocation of nutrients between the physiological functions of production and adaptation in a constrained goat environment. Therefore four studies were carried out. The first study was the characterisation of goat production systems on family farms in the area of Fatick, Senegal. A survey was conducted among 45 farmers in four localities. It revealed that the farmers were all agro-pastoralists practising a mixed farming system. The majority (93%) supplemented their animals with agricultural by-products, agroforestry resources and kitchen scraps. A multiple correspondence analysis identified three groups: a first group, consisting of producers and processors of milk into traditional curdled milk, practising the sale of animals for household needs; a second, more specialised group of milk processors into yoghurt and cheese; and a third, (agro) pastoral group of goat sellers.

Identification of goat husbandry practices related to feeding and housing and prospects for improvement in the same area was the focus of the second study. Surveys were conducted among eighty (80) herders (19% male and 81% female) in five villages. Based on the associated practices and objectives, an analysis of the main components revealed three categories of herders: "Innovators - Milk", "Innovators - Intermediate" and "Tradition". The first two groups were the largest (32.5 and 40%, respectively). The first group used natural pastures, agricultural residues, and natural woodland and raised goat herds. Its members gave particular importance to these practices to achieve milk production targets. The second group favoured fodder and woody crops and employed goat farm, all associated with a main objective of organic manure production. The third group used traditional housing combined with livestock farming based on sale of animals and meat consumption. However, it appeared that goat housing and feeding practices based on fodder crops were similar and highlighted herders wishes to "stabilise" the goats permanently, close to the house, mainly to protect their animals

from bad weather. Heavy rainfall during rainy season, in particular, favours diseases and mortality, especially among young animals.

Studies 3 and 4 aimed to provide zootechnical advice to livestock farmers. They compared the Spanish breed Majorera, which has a good performance in milk production, with the local breed, Sahelian goat, on dietary efficiency of energy and nitrogen of a locally available resource, cowpea haulm, *Vigna unguiculata*, variety 58/74, and their possible relationships with faecal microbiota.

The results showed that the Majorera and Sahelian goats had similar levels of dry matter (DM) intake and nutrient digestibility. On the basis of metabolic weight, intake of dry matter, gross energy, digestible energy, metabolisable energy and net energy, and energy lost as methane production were significantly higher ($p < 0.01$) in the non-native goats than in the Sahelian goats. Urinary excretion of energy was similar ($p = 0.9$) between breeds, while the loss of faecal energy was higher in Majorera than in Sahelian goats. The milk energy production of Majorera goats was higher than that of Sahelian goats ($p < 0.05$). However, the conversion yield from metabolisable energy to net energy (klm) was not affected by breed ($p = 0.37$), while nitrogen intake, milk nitrogen to nitrogen conversion yield and faecal nitrogen losses, relative to metabolic weight, were significantly higher ($p < 0.05$) in Majorera goats than in Sahelian goats. In contrast, the fraction of dietary nitrogen excreted in urine was higher in Sahelian animals. Breed factor had no effect on nitrogen retention, nitrogen digestibility, urine nitrogen and nitrogen utilization efficiency.

Amplicon profiling of the 16S ribosomal RNA gene showed that the relative abundance of phyla in the faecal microbiota was similar between breeds, highlighting the dominance of phyla firmicutes with 94.4% of the total sequences, followed by Actinobacteria with 3.7% of the sequences. Bacteroidetes represented 0.7% of the total sequences. The proportions of Lactobacillales, Erysipelotrichales and Bifidobacteria were higher in Majorera goats than in Sahelian goats ($p \leq 0.05$), in contrast to Elusimicrobials ($p \leq 0.04$). No significant effect of breed on bacterial diversity was observed (R-ANOSIM = 0.198; $P = 0.082$). However, out of the 284 genera identified in our samples, eight (08) genera of bacteria showed breed difference, i.e, the genera *Atopostipes*, *Bifidobacteriaceae_ge*, *Defluviitaleaceae-UCG-011*, *Enteractinococcus*, *Lachnospiraceae-UCG-008*, *Muribaculaceae_ge* and *Roseburia* were significantly more represented in animals of allochthonous race ($p = 0.037$), as opposed to *Bacillus* ($p = 0.045$). In conclusion, goats of both breeds were similar in terms of energy efficiency and nitrogen use, despite higher daily milk production and dry matter consumption in Majorera goats. The goats were also similar in terms of energy and nitrogen digestibility and faecal microbiota.

In conclusion, the Majorera breed is likely to be more dependent on a high energy diet than the Sahelian breed as suggested by a higher basal metabolism.

Préambule général

Préambule général

Notre travail est composé de quatre parties.

- La première partie constitue l'introduction générale

Elle présente le contexte de l'élevage caprin, les enjeux et la dynamique du secteur de l'élevage au Sénégal et en Afrique subsaharienne les objectifs et les hypothèses de la thèse.

- La deuxième partie constitue les quatre études effectuées dans le cadre de cette thèse. Il s'agit :
 - Etudes 1 et 2: **Etat des lieux des systèmes d'élevage caprins dans le bassin arachidier du Sénégal**

Elles décrivent les pratiques d'élevages et le rôle du secteur caprin. Elles sont présentées sous forme d'articles. L'article 1 a pour titre « Typologie des systèmes de production caprine des petits exploitants dans la région de Fatick, Sénégal ». Cet article est publié dans le journal « Pastoralism », et l'article 2 : « Identification des pratiques d'élevage caprin liées à l'affouragement et au logement et des objectifs d'élevage dans la région de Fatick, Bassin arachidier, Sénégal » est en préparation pour être soumis

- Etudes 3 et 4: **Etude de l'efficacité d'utilisation digestive des chèvres**

Elles sont présentées sous forme d'articles. L'article 3 porte sur « Étude comparative de l'ingestion, de la digestibilité apparente et de l'utilisation de l'énergie et de l'azote chez les chèvres laitières du Sahel et de la Majorera nourries au foin de *Vigna unguiculata*, variété 58/74 ». Cet article est publié dans la revue « *Animals* ». L'article 4 a pour titre « Etude comparative du microbiote fécal chez les chèvres du Sahel et Majorera nourries à base de légumineuse « *Vigna unguiculata*, variété 58/74 », et est en préparation pour être soumis.

- Troisième partie : **Discussion générale**

Elle concerne la discussion des résultats des études menées dans le cadre de cette thèse.

Quatrième partie : **Conclusion générale et Perspectives**

Nous y présenterons les limites de l'étude et les pistes de recherches pour les travaux futurs en rapport avec l'élevage familial caprin résilient au Sénégal.

Introduction

1 Introduction Générale

1.1 Contexte de l'élevage caprin

Dans les pays en développement comme le Sénégal, les chèvres apportent une contribution importante aux moyens de subsistance des agriculteurs aux ressources limitées, en particulier dans les zones rurales. Au niveau mondial, l'Afrique occupe la deuxième place (42%) en termes d'effectif caprins après l'Asie (53%), suivie des Amériques (4%) (FAOSTAT, 2019 ; Fig. 1.1).

La production de viande de chèvre suit une tendance similaire, l'Asie étant en tête (73% de la production mondiale), suivie de l'Afrique (23%) et des Amériques (3,8%) (FAOSTAT, 2019).

La production mondiale de lait de chèvre a été estimée à 18,7 millions de tonnes en 2017. Elle a augmenté de 16 % entre 2007 à 2017. Au cours de cette période, l'Asie a connu la plus forte hausse (27,9 %), suivie par l'Afrique (15,1 %), l'Océanie (10 %), les Amériques (5,2 %) et l'Europe (4,5 %) (FAOSTAT, 2017).

Le potentiel des chèvres pour l'approvisionnement durable en lait et en viande pour la consommation humaine est incontestable, et leur contribution à l'amélioration de la nutrition des populations rurales est susceptible d'augmenter. Dans le même temps, la consommation de fromage de chèvre devrait également augmenter dans les pays développés. Cela s'explique par l'image du fromage de chèvre comme un produit issu de conditions naturelles d'élevage, comparé au lait et aux produits laitiers provenant de bovins laitiers à haut rendement dans les grandes exploitations industrielles (Kahi and Wasike 2019).

En plus de la viande et du lait, les chèvres fournissent également des cuirs et peaux, du fumier et de la laine. Elles jouent un rôle socioculturel important dans de nombreuses communautés. Leur utilisation comme cadeau, pour la dot ou l'abattage lors de fêtes traditionnelles ou les cérémonies religieuses renforcent les liens familiaux et sociaux (Kosgey and Okeyo 2007 ; Onzima et al. 2018; Sow et al. 2020). En outre, les chèvres autochtones constituent une ressource génétique bien adaptée aux diverses conditions agro-écologiques, et, avec les ovins, ils représentent l'espèce de bétail appropriée dans les zones qui ne se prêtent pas à l'agriculture et dans les endroits où d'autres espèces de bétail peuvent ne pas être réalisables (Onzima et al., 2018).

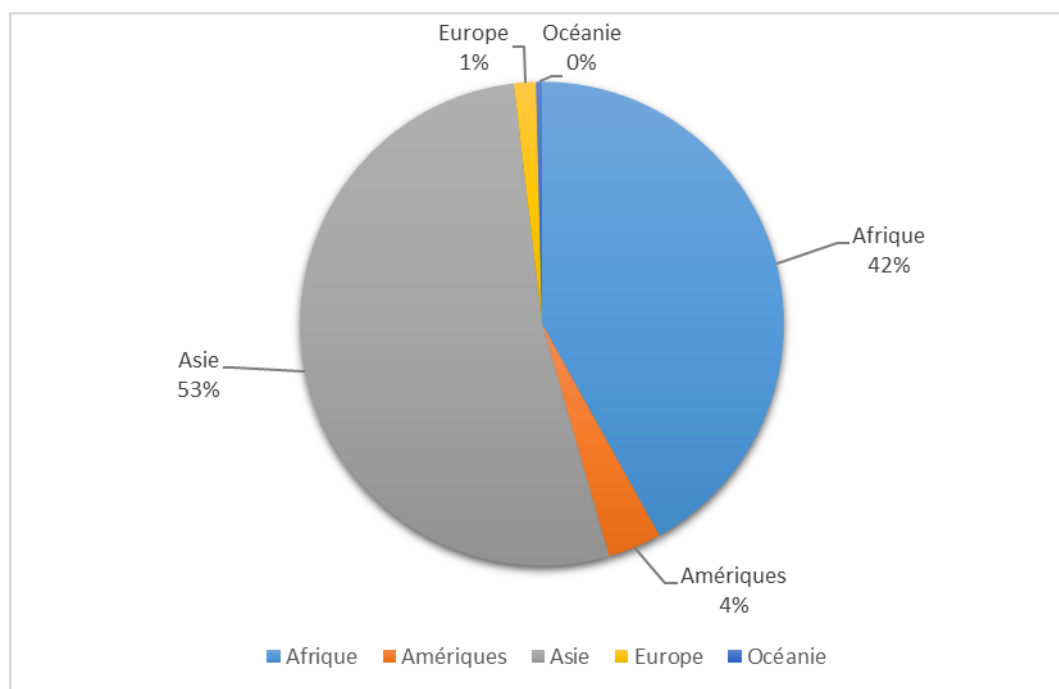


Figure 1.1. Répartition continentale de la population caprine (<http://www.fao.org/faostat/fr/#data/OA>, consulté le 26 janvier 2021)

1.2 Histoire de la domestication de la chèvre

La chèvre (*Capra hircus*) a été l'une des premières espèces à être domestiquée par l'homme, vers 7000 avant J.-C. en Asie du Sud-Ouest (De Vries 2008). Elle s'est ensuite répandue dans toutes les zones tropicales et la plupart des zones tempérées en raison de sa grande adaptabilité à des conditions environnementales variables et aux différents régimes nutritionnels sous lesquels elle a évolué et s'est ensuite maintenue. Elle s'est révélée utile à l'homme à travers les époques en raison de sa productivité, de sa petite taille, et de sa non compétitivité avec l'être humain pour la nourriture. Gnanda (2008) a mentionné que la chèvre constitue l'animal de choix lors d'événements sociaux comme les mariages, la circoncision, les funérailles, les baptêmes et la réception d'hôtes de marque ou de parents. La pratique du confiage de courte ou de longue durée constitue la forme de solidarité la plus répandue chez les éleveurs de caprins, surtout entre femmes. Il s'agit d'une forme de passage de dons où la bénéficiaire est tenue d'entretenir la chèvre confiée, en bénéficiant des mises bas afin de constituer son noyau de départ (Missohou et al. 2016).

Dans la plupart des pays en développement, les chèvres fournissent des biens très précieux, en particulier aux pauvres des zones rurales. Mais l'importance de cette ressource génétique est sous-estimée et sa contribution aux moyens de subsistance des pauvres est peu connue. Les chèvres sont souvent négligées par rapport aux bovins et aux ovins. Cette attitude à leur égard est probablement due en partie à la reconnaissance de leurs capacités, plutôt qu'à un quelconque préjugé à leur égard, car les

éleveurs jugent les chèvres intelligentes, indépendantes, agiles, tolérantes à de nombreuses maladies et parasites et plus autonomes que les autres espèces de bétail (R. B. Onzima et al. 2018).

1.3 Utilisation digestive et métabolique des aliments et microbiote chez les caprins

1.3.1 Anatomie du tube digestif

Chez la chèvre, la formule dentaire est toujours I : 0/4, C : 010, P : 3/3, M : 3/3. Les incisives supérieures sont absentes et remplacées par le bourrelet incisif ou gingival (Dulphy, Martin-Rosset, and Jouany 1995; Garrett 1988). Les dents se comptent au nombre de 20 chez le jeune puis jusqu'à 32 chez l'adulte. Leur mâchoire étroite leur confère la particularité et la capacité de trier les aliments (Nordmann et al. 2011). Les caprins, profitent de cette caractéristique pour focaliser leur prélèvement sur de petites portions de feuillage ou sur des brins d'herbe courts au ras du sol (Lebbie 2004). Pour sectionner les plantes, ils les pincent entre leur incisive et leur bourrelet gingival supérieur puis, par un mouvement frontal ou latéral de tête les arrachent.

A part son volume plus faible, l'estomac des caprins est conformé comme celui des autres ruminants (Dulphy, Martin-Rosset, and Jouany 1995 ; McCracken and Kainer 2006). Par exemple, le rumen de la chèvre est un peu plus volumineux que chez le mouton avec une capacité qui peut aller jusqu'à une trentaine de litres. De plus, l'appareil papillaire de la muqueuse du rumen est plus développé. Par ailleurs, le réseau et le feuillet sont ordinairement plus réduits chez les caprins. Mais, ces différences de taille n'ont pas d'effets significatifs sur la capacité d'ingestion et la digestibilité de ces deux espèces pour un même régime (Chamchadine 1994). Le rumen est approvisionné pendant 5 à 8 heures par jour, par l'ingestion d'aliments fractionnées en une dizaine de repas.

La disposition de l'intestin est similaire pour tous les petits ruminants. De manière générale, il est plus long chez le mouton que chez la chèvre mais celle-ci présente un intestin de calibre supérieur. Parmi les différentes parties de l'intestin (intestin grêle, caecum et côlon), seul le côlon spiral distingue les deux espèces, par sa forme circulaire chez le mouton et elliptique chez la chèvre (McCracken and Kainer 2006).

1.3.2 Comportement alimentaire

Tout comme les ovins et bovins, les caprins sont bien adaptés à la valorisation des fourrages. Cette valorisation est rendue possible grâce à un rumen, pouvant atteindre 8 à 20% du poids vif (PV) de la chèvre. Sa taille est un facteur limitant de la capacité d'ingestion (CI) (Leleux 2019). La chèvre a un besoin important de fibres. Mais bien plus que la vache ou le mouton, elle est sujette à sélectionner ses aliments : elle mange donc plus lentement que d'autres ruminants, et sa ration peut rapidement se trouver déséquilibrée en fonction de ses préférences (excès de concentrés ou de fourrage). Elle peut également ne manger qu'une partie du fourrage, comme les feuilles (Morand-Fehr 1980) ;

(Chamchadine 1994). Ce comportement alimentaire particulier aux caprins implique une prédisposition à certaines affections métaboliques telles que l'acidose.

Le comportement alimentaire de la chèvre présente les caractéristiques propres à tous les ruminants mais, chez les caprins, elles sont souvent exacerbées. C'est surtout la manière dont ils choisissent ce qu'ils ingèrent qui caractérise leur comportement alimentaire (Gallouin and Focant 1980). Contrairement aux bovins, uniquement brouteurs, les caprins sont mi-brouteurs mi-cueilleurs. Ainsi, les chèvres trient les aliments en fonction de leurs préférences alimentaires et ce, d'autant plus qu'une large gamme d'aliments est à leur disposition (Jacques, 2012, cité par (Leleux 2019)). La palatabilité des aliments dépend de plusieurs facteurs. Au niveau individuel, chaque chèvre a ses propres préférences en fonction de son histoire. Les chèvres ingèrent bien les fourrages qu'elles connaissent depuis qu'elles sont jeunes. En revanche, elles peuvent refuser de manger certains aliments qui leur auraient causé une mauvaise expérience, comme une acidose sub-clinique. Au niveau des fourrages, les jeunes pousses, moins riches en parois cellulaires, sont préférées aux pousses plus âgées. Le mode de conservation influence également la palatabilité : les fourrages verts sont préférés aux foins, eux-mêmes préférés aux ensilages sauf pour les préfanés enrubannés (Jacques, 2012, cité par (Leleux 2019)). Ce comportement de choix a plusieurs conséquences importantes : d'abord le gaspillage de fourrages peut être important et atteindre 40 ou 50% du distribué, d'autre part la valeur nutritive de l'ingéré réel est souvent très différente de celle du distribué, en particulier dans le cas d'un foin de légumineuse, où les tiges fines et les feuilles sont préférentiellement ingérées. Les différences individuelles sont importantes, en particulier dans le cas de l'ensilage de maïs où certaines chèvres consomment davantage les rafles et les tiges et d'autres les grains. Ce phénomène rend encore plus difficile l'estimation de l'énergie et des matières azotées réellement ingérées. La chèvre à même niveau d'ingestion consacre plus de temps que le mouton à l'ingestion de sa nourriture, généralement 6 à 7 heures pour du foin long non broyé. Le hachage du foin réduit ce temps à 5 heures environ et le broyage et le condensage à 2 h 30, alors que l'ensilage d'herbe demande en moyenne 3 h 15 pour être consommé (Morand-Fehr 1980)

1.3.3 Digestion, digestibilité et besoins des caprins

1.3.3.1 Digestion et Digestibilité

La rumination (ou activité mérycique) occupe la chèvre 8 à 10 h par jour pour un régime à base de foin (Hurez 2015). Il s'agit d'un réflexe qui est déclenché par le frottement d'éléments fibreux contre la paroi du rumen, au niveau du cardia.

Certains auteurs ont estimé que la longueur et le poids du tube digestif à poids vif égal étaient plus faibles chez les chèvres que chez le mouton, mais le développement du tube digestif dépend également des conditions alimentaires. Un régime riche en parois cellulaires favorise le développement du volume du rumen. Mais celui-ci est surtout lié au poids vif de l'animal. Aucune différence n'a été observée dans le temps de rétention moyen des particules d'aliments dans l'ensemble

du tube digestif des ovins et des caprins consommant la même quantité de fourrage de bonne qualité, mais le temps de rétention des caprins recevant un fourrage de mauvaise qualité était plus long (Morand-Fehr 1980). Ainsi, la digestibilité est étroitement liée à la combinaison de plusieurs facteurs dont le contenu du régime en parois cellulaires et leur degré de lignification. Mais chez les caprins, la digestibilité de la matière sèche et des hydrates de carbone structurels, dans un régime hautement lignifié, dépasse considérablement les performances des autres petits ruminants (Chilliard et al. 2010). Les chèvres sont toutefois sensibles aux régimes alimentaires très pauvres en fibres et riches en concentrés. L'incorporation de plus de 60% de matière sèche de concentrés dans les régimes alimentaires ou des régimes à base de fourrages présentés sous forme de petites particules entraînent une diminution du pH ruminal (Gonçalves et al. 2001; Bava et al. 2001).

Certains auteurs rapportent que les chèvres sont moins sensibles aux tanins (Morand-Fehr 1980; Lee and Lee 2002), alors que les bactéries protéolytiques des ruminants sont peu efficaces à la digestion des protéines complexées avec les tanins condensés (Sweeney, Palmer, and Bunch 1999).

(Decandia et al., 2000).

La capacité des caprins à brouter des arbustes riches en tanins et de les détoxifier est ainsi bien plus grande que chez les ovins sous des conditions comparables. Ces avantages sont liés à l'aptitude des caprins à contrôler leur environnement ruminal. Le fait de maintenir un pH régulier dans le rumen, via une production salivaire abondante, ainsi qu'un recyclage efficace des nutriments fondamentaux tels que l'azote et le soufre, permet aux caprins de maintenir un taux maximum de fermentation ruminale (Koluman and Silanikove 2018).

D'autre part, la faculté supérieure des caprins à digérer les végétaux grossiers est à mettre également en relation avec le caractère plus ligneux du régime caprin par rapport au régime ovin. Cette sélection différente résulte sans doute du sens de la gustation. En effet, les chèvres sont plus tolérantes aux substances amères des ligneux, due aux tannins, que les moutons (Mandonnet et al. 2011).

La digestion des caprins se distinguerait par une meilleure aptitude que les autres ruminants à transformer l'urée ou d'autres sources d'azote non protéique en protéines microbiennes, (Voicu et al. 2008). De plus, les chèvres ont tendance à mieux exploiter la matière organique ou la matière sèche des fourrages distribués que les moutons. Ce phénomène est particulièrement marqué sur la cellulose. La chèvre qui consomme un fourrage de moindre qualité, utilise mieux l'ammoniac présent dans le rumen ou en dispose en quantité plus élevée, permettant ainsi une synthèse de protéines microbiennes plus intense (Decandia et al. 2008). Enfin, la sécrétion salivaire par jour, rapportée au gramme de matière sèche ingérée est nettement plus élevée chez la chèvre que chez le mouton recevant la même ration. Ainsi, il est possible que le recyclage de l'urée dans le tractus digestif de la chèvre soit plus élevé dans le cas de rations pauvres en azote (Morand-Fehr *et al.*, 1981).

1.3.3.2 Besoins alimentaires

Les valeurs des besoins d'entretien chez les caprins à même poids vif sont très proches de celles du mouton et, celles destinées à la production de lait à même composition, de celles de la vache laitière. Ainsi, au niveau fondamental, les besoins des caprins suivent les mêmes lois propres aux ruminants. Mais les spécificités des caprins sont le fait de leurs caractéristiques physiologiques ou de conduites d'élevage particulières (Morand-Fehr 1980). Sengar et al. (1980) ont souligné que dans les conditions tropicales les besoins des chèvres en eau et en minéraux sont plus élevés, alors que les besoins en énergie et en azote sont fonction de la saison .

1.3.4 Le microbiote

Au cours de l'évolution, les mammifères herbivores ont développé une relation symbiotique avec des microorganismes possédant les enzymes nécessaires à la digestion de ces constituants végétaux (Hobson and Stewart 1997 ; Lescarret, 2019). Ces microorganismes commensaux sont répartis tout le long du système digestif, avec une grande variabilité qualitative et quantitative selon la section digestive de l'espèce animale considérée, et constituent ce que l'on appelle le microbiote digestif. Le microbiote digestif est composé de bactéries, d'archées, des protozoaires et d'autres eucaryotes (champignons, levures) en proportions variables (Calenge, Phocas, and Morgavi 2014).

Le rumen accueille un microbiote diversifié : environ 200 espèces de bactéries (10^{10} à 10^{11} bactéries par mL), des protozoaires (de 10^4 à 10^6 par mL) et des champignons (entre 10^3 et 10^5 zoospores par mL – les zoospores sont des spores mobiles flagellées participant à la reproduction de certains Eumycètes). On trouve également entre 10^7 et 10^9 particules de virus bactériophages par mL (Dusart 2014).

L'alimentation est un facteur essentiel qui influence le microbiote du tube digestif. La nature, la forme de présentation, la quantité ingérée, la fréquence de distribution sont autant d'éléments qui peuvent influencer les communautés de micro-organismes (Larue et al. 2005). Les fibres alimentaires, grâce à la dégradation et à la synthèse microbienne, fournissent l'énergie nécessaire au maintien, à la croissance, à la lactation et à la reproduction. Si le rôle des fibres alimentaires en tant que nutriment et leur digestion chez les bovins sont bien compris, la digestion des fibres et leur rôle dans les performances productives n'ont pas reçu la même attention chez les chèvres (Lu, Kawas, and Mahgoub 2005).

Chez les ruminants, le microbiote est majoritairement présent dans le rumen, alors que chez les herbivores monogastriques, c'est le gros intestin, et en particulier le caecum chez les lapins, qui concentre le plus de microorganismes symbiotiques (Lescarret, 2019). Les écosystèmes microbiens des autres parties du tube digestif des ruminants sont moins bien connus, mais l'abondance relative des bactéries, eucaryotes et archées, varie selon le compartiment digestif (Chuzhao Lin, Lutgarde Raskin 1997).

Les ruminants dépendent essentiellement du microbiote qui habite le réticulo-rumen pour la digestion des aliments (Pitta et al. 2018). Le microbiote ruminal affecte à la fois l'efficacité

alimentaire, la qualité de la production des ruminants et même la production de méthane (Morgavi et al. 2013).

De plus en plus de preuves suggèrent que le profil naturel d'acquisition et de colonisation du microbiote postnatal est influencé par des facteurs tels que le mode d'alimentation, l'environnement de soins et l'utilisation d'antibiotiques chez les ruminants (Martin et al. 2016 ; Bi et al. 2019).

L'exposition de longue durée à la disponibilité saisonnière du fourrage et à l'environnement difficile a entraîné une série de mécanismes d'adaptation à la suite de l'évolution des ruminants pour faire face aux carences nutritionnelles et autres conditions défavorables. Cela est probablement dû à une ressource génétique sans précédent pour les enzymes fibrolytiques d'origine microbienne qui permettent à l'hôte de dégrader efficacement les polysaccharides végétaux (Klein-jo et al. 2019).

Selon Li et al. 2019, certaines caractéristiques microbiennes du rumen sont héréditaires et pourraient être influencées par la génétique de l'hôte, ce qui met en évidence la possibilité de manipuler et d'obtenir un microbiote du rumen souhaitable et efficace en utilisant la sélection génétique et l'élevage. Toutefois la communauté bactérienne ruminale est établie avant l'ingestion d'aliments solides, mais l'arrivée des aliments solides façonne à son tour cette communauté.

En effet, dans le rumen de la chèvre, l'ARNr bactérien représente 59% du total ARNr présent, contre 66% et 73% respectivement dans le côlon et le cæcum. Les études moléculaires démontrent que certaines divisions bactériennes sont dans les mêmes proportions dans le rumen de différentes espèces de ruminants domestiques, tandis que les autres divisions diffèrent. Chez la chèvre, le genre *Butyrivibrio* est majoritaire puisque 70% des souches isolées appartiennent à ce type bactérien. Etant donné que les communautés bactériennes des fermenteurs digestifs abritent plusieurs centaines d'espèces, il est probable que les espèces présentes et leurs abondances respectives diffèrent d'un individu à l'autre chez une même espèce de mammifère herbivore. Cette variabilité inter-individu a été observée dans la communauté bactérienne du rumen du mouton (Touitou (2019) et Michelland et al., 2012) et du côlon de l'Homme (Zoetendal and Mackie 2014). Il a été montré sur la souris (Benson et al. 2010) que le microbiote digestif était un écosystème polygénique complexe, influencé par des combinaisons entre facteurs environnementaux et génétiques de l'hôte.

Par conséquent, étudier la flore des fèces s'avère être une alternative à privilégier malgré de nombreuses limites. En effet, il est admis que, si le prélèvement de fèces donne une représentation partielle du microbiote intestinal, il n'en est pas le reflet strict, comme cela a été montré chez l'Homme et la souris (Segata et al. 2012 ; Eloie-fadrosch and Rasko 2013). Des différences de composition du microbiote sont aussi observées entre le rumen et les fèces (Michelland et al. 2009). Enfin chez le lapin, les deux types de fèces (crottés durs et caecotrophes) ont des microbiotes de compositions différentes (Michelland et al., 2012). En dépit du fait que les fèces ne reflètent qu'imparfaitement la totalité des microbiotes du tube digestif, leur étude demeure scientifiquement pertinente si les variations de leur composition peuvent être reliées à des variations phénotypiques d'intérêt chez l'animal. Ainsi, si les animaux ayant une bonne aptitude à digérer des aliments difficiles

à digérer se révèlent capables de bien digérer des aliments faciles à digérer, l'inverse n'est pas vrai. Une compréhension approfondie des facteurs génétiques et d'élevage contrôlant l'adaptabilité à la variabilité de la qualité des aliments (liés à l'animal et/ou à son microbiote) est ainsi nécessaire pour définir les meilleures stratégies de sélection et d'alimentation des animaux. Chez les ruminants, certaines études montrent aussi que la composition de la communauté bactérienne du rumen dépend de la race (Rooke et al. 2014 ; Lescarret 2019).

1.4 Principales races exploitées au Sénégal

1.4.1 Les races locales

1.4.1.1 Chèvre du sahel ou peul

Le groupe de la chèvre du Sahel est rencontré dans la bande sahélienne (allant du lac Tchad au Sénégal) et regroupe des races de type hypermétrique et longiligne. Elle est grande (70 à 85 cm au garrot) et pèse entre 25 et 35 kg. La robe est très variable mais souvent conjuguée à deux ou trois couleurs : noir, blanc et rouge (Chamchadine, 1994, cité par (Diouf, 2012) (Figure 8a).



Figure 1.5.a. Chèvre du Sahel (Source:www.Ilri.org, consulté le 07/05/2018)

1.4.1.2 Chèvre naine

Le groupe de la chèvre naine/Djallonké occupe toute la région en dessous du quinzième parallèle nord (Epstein, 1971) et comprend des animaux de type ellipso métrique et bréviligne (Doutressoulle, 1947, cité par Missohou et al. 2016). La chèvre naine est également appelée chèvre Djallonké, Chèvre du Fouta Djallon ou Chèvre Guinéenne (figure 8b). Charry et al., 1980, et Gueye, 1997 cité par (Diouf 2012), décrivent la chèvre naine comme un animal à poils ras, parfois longs au niveau de l'abdomen et des pattes postérieures. La robe a des couleurs variables. L'animal est trapu, de petite taille : il mesure au garrot 47 cm et pèse en moyenne 18 kg. La tête est forte, le chanfrein est droit à légèrement concave, les oreilles sont moyennes à longues, horizontales ou tombantes. Les cornes, présentes dans les deux sexes, sont assez développées chez le mâle et sont dirigées en dehors et en arrière. La femelle et le mâle portent une barbiche mais seul chez ce dernier on trouve une crinière.

Les pendeloques sont en général très rares. Le cou est court et épais surtout à la base, le garrot est peu saillant avec un dos étroit, une croupe courte, étroite et inclinée. Le corps est trapu avec des membres courts et bien musclés. Cependant en Casamance, la robe fauve avec une raie de mulot dorsale est la plus fréquente.



Figure 1.5.b. Chèvre Naine (Source:www.Ilri.org, consulté le 07/05/2018)

1.4.2 Les races étrangères

1.4.2.1 La race Majorera

La chèvre Majorera est une race autochtone espagnole originaire de l'île de Fuerteventura (Canaries). Elle se caractérise par son adaptation aux climats semi-arides et sa production laitière plus élevée avec une production moyenne de plus de 500 kg de lait par lactation (210 jours). Elles représentent environ 70 % de la population caprine des îles Canaries (Capote et al. 2002) ; (Navarro-Ríos, Fernández, and Perezgrovas 2011).

C'est un animal de grande taille, environ 0,75 m de type médioligne, eumétrique. La robe caractéristique a un pelage hétérogène (mélange de blanc, marron et noir), brillant, avec des taches blanches un peu partout sur le corps. La peau est très souple. La tête est fine, le profil est droit, les oreilles sont longues, les cornes sont aplaties d'avant en arrière, divergent à leurs extrémités, les insertions sont rapprochées. Le dos est rectiligne, l'animal possède une musculature plus développée que les chèvres locales. La mamelle est bien attachée et large à la partie supérieure. La race est caractérisée par sa bonne production laitière. La queue est courte, relevée en toupet couverte de poils assez touffus. La ligne du dos est plus foncée, de même que le front et les extrémités des membres. Ce phénomène se rencontre avec plus de fréquence chez les mâles qui présentent en outre une touffe de poils abondante sur le front (Capote et al. 2002).



Figure 1.6.a. Chèvre de race Majorera (Photo : F. SOW, Station ISRA de Sangalkam, 2018)



Figure 1.6.b. Bouc de race Majorera (Photo : F. SOW, Station ISRA de Sangalkam, 2018)

1.4.2.2 La race Saanen

La Saanen est une chèvre laitière à robe blanche uniforme, originaire de la vallée de Saane, en Suisse. Elle produit en moyenne 945 litres de lait en 306 jours, dont la teneur en matières utiles s'élève à 35.8 g/kg TB et 31.8 g/kg TP (Capgenes 2019). Il s'agit d'un animal à poils courts, trapu, de grand gabarit (60 à 90 kg pour une femelle adulte) et de tempérament calme. Sa poitrine est longue, ce qui lui confère une grande capacité thoracique. Elle présente aussi une mamelle bien développée et des aplombs corrects. Ces deux critères ont récemment été intégrés au programme d'amélioration génétique dont la Saanen fait partie afin de limiter le taux de réforme suite à leur dégradation lors d'une sélection trop axée sur la production laitière. Cette race s'adapte très bien aux différents modes d'élevages (dont l'intensif) et aux différents régimes alimentaires. Sa haute productivité et sa polyvalence en font la race la plus répandue dans le monde (Buyschaert 2016; Capgenes 2019).



Figure 1.7.a. Chèvre Saanen (Capgène.com), consulté le 10 août 2020



Figure 1.7.b. Chèvre Alpine (Capgène.com), consulté le 10 août 2020

1.4.2.3 La race Alpine

Originaire du massif alpin, la chèvre Alpine est, après la Saanen, la race la plus représentée au monde. La robe est chamoisée et le poil est ras. Son gabarit est légèrement plus petit que celui de la Saanen (50 à 80 kg pour une femelle adulte). Il s'agit donc d'une haute productrice laitière au format moyen mais plus rustique. Elle peut produire 890 litres en 295 jours, à 37.8 g/kg TB et 33.2 g/kg TP, ce qui la destine aux élevages laitiers mais également à la transformation fromagère en ferme (Buysschaert 2016; Capgenes 2019).

1.5 Enjeux socioéconomiques et politiques du secteur de l'élevage sénégalais, Problématique et choix de la zone d'étude

1.5.1 Enjeux socioéconomiques et politiques du secteur de l'élevage sénégalais

En Afrique de l'Ouest, l'élevage joue un rôle macro et microéconomique primordial. Représentant 5 à 44 % du PIB agricole des pays de cette région (CSAO-OCDE/CEDEAO 2008), il occupe le premier rang des produits d'exportation des pays sahéliens où plus de 75% des populations rurales y tirent tout ou partie de leurs revenus (FAO 2008).

Au Sénégal, l'élevage constitue un secteur stratégique de l'économie nationale, occupant ainsi près de 60% des ménages agricoles. Il représente 4,6% du Produit Intérieur Brut et contribue à près de 0,3% à sa croissance qui s'établissait à 6,2% en 2016(ANSD 2017). Cependant, l'élevage évolue dans un registre principalement traditionnel. Ce sous-secteur joue un rôle socio-économique très important : 350 000 familles, soit environ 3 millions d'individus vivent de l'élevage (ANSD 2019). Le Sénégal comme d'autres pays sahéliens, est une importante zone d'élevage, notamment de ruminants, où près de 36% de ce cheptel constitué de caprins en 2016. Le cheptel national est passé de 2010 à 2016, de 3,32 à 3,54 millions de têtes de bovins, 5,6 à 6,7 millions d'ovins et 4,8 à 5,7 millions de caprins, soient des taux d'accroissement annuels respectifs de 1,1%, 3,2% et 3,13% (MEPA, 2016). Ces derniers contribuent pour 10% à la production nationale de viande et ont fourni en 2010 près de 52 millions de litres de lait contre 143 millions de litres pour les bovins. La production laitière caprine, représentant 36% de celle bovine, a connu, entre 2005 et 2010, le plus fort taux accroissement annuel (2,89%) comparé aux bovins(1,25%) (www.sigel.gouv.sn/fronts, consulté le 26/01/2021). La production nationale de lait issue du système extensif et intensif a augmenté de 91 %, passant de 119 millions de litres en 2000 à 227 millions de litres en 2015.

Les caprins jouent d'importants rôles aux plans socio-économique, culturel, religieux et nutritionnel (protéines animales) pour les populations rurales (A. Missohou et al. 2016, 2004 ; Diouf, 2012). Contrairement aux autres ruminants qui ont une valeur d'épargne, ils constituent une véritable trésorerie et un moyen d'acquisition du gros bétail à travers le troc en zones rurales. Du fait de leur coût plus abordable, ils sont au Sénégal, intimement liés à toutes les cérémonies religieuses, familiales ou socioculturelles : fêtes de la Tabaski, de Noël, fêtes rituelles, réception d'hôtes, mariages, etc. (Djakba, 2007).

Les caprins sont élevés dans deux grands types de systèmes de production, basés d'une part sur les stratégies de gestion du troupeau et l'utilisation d'intrants externes et de pâturages naturels, et d'autre part sur des facteurs sociaux, culturels et économiques. Le système extensif est basé sur l'exploitation des parcours naturels sans relation directe avec l'exploitation agricole. Ce système comporte deux sous-systèmes : un premier sous-système pastoral caractérisé par la transhumance et un deuxième sous-système agro-pastoral dont la particularité consiste en une certaine sédentarisation en

rapport avec les activités agricoles. Les systèmes de production semi-intensifs à intensifs se trouvent là où les producteurs investissent plus ou moins dans les intrants et la main-d'œuvre, permettant ainsi aux animaux de mieux exprimer leur potentiel de production ; il s'agit des exploitations laitières urbaines et périurbaines, et de l'engraissement spécialisé des bovins et des ovins dans les campagnes. Ces systèmes pratiqués en milieu périurbain, en particulier dans la zone des Niayes, concernent une faible partie du cheptel, soit 1% des bovins et 3% des petits ruminants (Dieye et al. 2000). Toutefois, les pâturages naturels constituent l'essentiel de l'alimentation du cheptel, suivis des résidus de cultures, tandis que les cultures fourragères et l'utilisation du fourrage conservé est négligeable (Morou and Rippstein 2004; Enriquez-Sarano 2000). Les caprins font également partie intégrante des exploitations agricoles et concourent à une réhabilitation des sols à travers une bonne intégration agriculture-élevage. Ainsi, face au contexte actuel de changements climatiques, de forte croissance démographique (3% par an, avec plus de 16 millions d'habitants) et du taux d'urbanisation rapide (25% en 1960 vs. 42% en 2019), entraînant un exode rural de plus en plus important (ANSD 2019a), l'élevage caprin du fait de son potentiel et de sa multifonctionnalité, reste un moyen pertinent d'amélioration de la sécurité alimentaire, de réduction de la pauvreté et de résilience des populations rurales (Peacock and Sherman 2010).

Cependant, les sources de protéines animales (lait et viande) demeurent encore insuffisantes au Sénégal. A cet effet, en plus du recours aux importations de produits animaux pour pouvoir satisfaire les besoins des populations qui ne cessent d'augmenter, l'état a élaboré un Plan National de Développement de l'Élevage (PNDE) à travers l'exécution de différents programmes publics (PNIA, PROMOFA, PRONAM, PRADELAIT) pour encourager la création et la promotion d'un environnement favorable au développement des systèmes d'élevage (MEPA, 2016).

Dans ce cadre, plusieurs actions ont été entreprises pour améliorer la production caprine au Sénégal comme ce fut le cas de la chèvre rousse de Maradi, dans la période 1961 à 1971, pour sa peau et sa viande ; ou plus récemment, l'introduction en 2011 des chèvres Majorera, originaires des Îles du Canaris en Espagne pour la production laitière (ISRA/Projet GANAFRICA, 2011). C'est aussi le cas en 2010 du Projet d'Appui à la Filière Caprine (PAFC) entre la région de Fatick et celle de Poitou Charentes en France pour l'amélioration de la production et de la transformation du lait de chèvre via le croisement de la chèvre locale par insémination artificielle avec la semence alpine (Goetz, 2011).

1.5.2 Problématique et choix de la zone d'étude

Les programmes visant le développement du secteur de l'élevage ont davantage ciblé les bovins et ovins (ISRA/ITA/CIRAD, 2005), avec l'objectif d'améliorer le potentiel génétique de races locales plutôt que d'autres facteurs de production, socio-culturels, économiques, zootechniques et environnementaux. Les quelques études réalisées sur les caprins au Sénégal et dans la sous-région ne

se sont focalisés dans leur majorité que sur les systèmes d'élevage (Sow et al. 2020 ; GILLEROT A. 2018 ; A. Missohou et al. 2016 ; Diouf 2012 ; Théogène 2009 ; Djakba 2007 ; Missohou A., Diouf L., Sow R.S. et al. 2004) et la génétique, notamment la morpho-biométrie, l'identification et la discrimination des populations caprines autochtones via l'utilisation de microsatellites polymorphes. L'élevage caprin au Sénégal reste toujours confronté à des contraintes majeures - mode de conduite, environnement, alimentation, niveau d'organisation et de formation des acteurs, et maladies - qui entravent son développement par rapport aux autres ruminants. Malgré leur accompagnement, les éleveurs de l'Association Régionale Caprine (ARECAP) de Fatick, n'arrivent pas par exemple, à satisfaire la demande locale en produits laitiers du « Programme lait à l'Ecole » du projet CFSI (Comité Français pour la Solidarité Internationale) pour améliorer l'état nutritionnel des élèves des écoles primaires publiques de cette région. Ces difficultés de faible production, sont inhérentes aux diverses contraintes (BOURSIN D. 2020 ; SACRE H. 2020). Plusieurs raisons rendent l'élevage des chèvres particulièrement attrayantes pour la réduction de la pauvreté et l'amélioration de la sécurité alimentaire et des moyens de subsistance des familles pauvres dans les pays en voie de développement. Les chèvres sont faciles à acquérir par les personnes à faibles revenus car elles nécessitent un modeste capital de départ. Elles peuvent facilement être entretenues par les personnes faibles, les femmes ou les enfants et fournissent aux populations des nutriments précieux. Leur lait est toléré par de nombreuses personnes allergiques au lait de vache (Hazebrouck 2016).

Les caprins sont très adaptés à diverses conditions agro-écologiques mais sont sujets à des problèmes de déficits alimentaires quantitatifs et qualitatifs. La variabilité et les fluctuations des précipitations, le mode extensif de conduite des animaux les expose à une carence nutritionnelle récurrente, surtout pendant les saisons difficiles où les parcours sont quasi-désertiques. Les ressources alimentaires disponibles pour les animaux sont peu connues, très variables et vraisemblablement inadaptées. La pratique de la complémentation des chèvres par les éleveurs est quasi-inexistante, excepté ceux spéculant surtout dans la valorisation du lait. Le coût élevé de la plupart des matières premières conventionnelles, pousse les éleveurs à utiliser des ressources inadéquates qui limitent la qualité nutritionnelle des rations.

Par ailleurs, des études ont souligné unanimement les importantes fonctions socio-culturelles, religieuses et nutritionnelles de l'élevage caprin et son rôle de trésorerie pour les ménages ruraux (GILLEROT A. 2018 ; A. Missohou et al. 2016 ; Diouf 2012). Même si de tels résultats paraissent intéressants, la faible efficacité alimentaire des races caprines locales et la nature fibreuse des aliments locaux exigent une approche nutritionnelle différente de l'alimentation rationnelle classique. L'alimentation des chèvres doit être raisonnée en termes d'optimisation de l'utilisation digestive des aliments grossiers qui sont les plus fréquents au Sénégal.

Autant, le choix de la zone d'étude se justifie d'une part par le fait que sous l'initiative du Projet d'Amélioration de la Filière Caprine (PAFC) développé en 2006 dans la région de Fatick, l'élevage caprin est, depuis 2010, en partie organisé en Association Régionale des Eleveurs Caprins (ARECAP) comprenant 43 groupements d'éleveurs caprins et 11 chèvres familiales (Goetz 2011) et d'autre part, un accompagnement des structures de développement (Association Nationale des Programmes de Développement Intégrés –ANPDI; SOS-Faim, Projet d'Amélioration des Filières Animales – PAFA-Extension) pour améliorer le système de production et de transformation s'est mis en place (<https://www.sosfaim.be/partner/pdif/>). Cette association atteint aujourd'hui même la région de Diourbel, en plus de la région de Fatick, avec 1500 membres appartenant à 94 groupements féminins. Pour la promotion de la filière caprine, elle participe aux foires agricoles en présentant du yaourt et du fromage de chèvre et a coorganisé la première foire caprine à Fatick en 2012. Elle a aussi accompagné la création de la fromagerie moderne de Colobane en 2013 et son plaidoyer a contribué à une reconnaissance de la filière caprine par les pouvoirs publics qui ont mis en place dans la région de Fatick un Centre d'impulsion et de modernisation de l'élevage (Cimel) spécial chèvre.

1.5.3 Objectifs et Hypothèses

1.5.3.1 Objectifs

Les enjeux des productions animales dans les pays du Sud sont d'accroître la productivité, de préserver l'environnement, de maintenir le tissu rural, de lutter contre la pauvreté et de favoriser l'intégration économique. Ces points engagent fortement la Recherche au service du développement des productions animales. Sans être exhaustif, on peut envisager quelques pistes prioritaires pour répondre à de tels enjeux à l'échelle de l'animal : l'adaptation génétique, sanitaire, nutritionnelle et métabolique des espèces domestiques et des plantes fourragères aux conditions tropicales et à des objectifs d'intensification dans des contextes de ressources en mutation.

L'objet principal de cette thèse vise à mieux comprendre les systèmes d'élevage et l'efficacité de l'usage d'un fourrage liés à deux races. Par ailleurs, il a pour but d'identifier les races et pratiques d'élevage les plus appropriées pour répondre à la fois aux exigences d'une productivité durable, d'une qualité maintenue des produits animaux et d'un impact maîtrisé sur l'environnement.

Les objectifs spécifiques de notre travail consistent à :

1. Décrire les systèmes d'élevage caprin en milieu rural sénégalais ;
2. Identifier les pratiques prometteuses en affouragements et logements des chèvres, afin de comprendre les raisons de leur choix et les principales contraintes auxquelles elles sont soumises ;

3. Etudier l'efficacité d'utilisation digestive d'une race caprine locale et étrangère, afin de déterminer laquelle est plus appropriée en terme de valorisation digestive des fourrages localement disponibles ;
4. Décrire la diversité de la population microbienne fécale active chez les chèvres nourries à base de fanes de niébé fourrager, comme un des éléments éventuels d'explication de l'efficacité digestive des animaux.

Au vu de tous ces paramètres, des interrogations surgissent :

- Quelle peut être la place réelle de l'élevage caprin dans le paysage agricole de la région de Fatick ?

- Face à une très forte dégradation aussi bien au plan quantitatif que qualitatif des pâturages naturels, quelles sont les pratiques développées par les éleveurs dans la conduite de leur élevage caprin?

- la connaissance de l'aptitude d'utilisation digestive des fourrages permettrait-elle une meilleure optimisation par les éleveurs, du potentiel de production des chèvres?

C'est pour essayer d'apporter des éléments de réponse à ces questions que nous avons entrepris cette étude sous le thème: Caractéristiques des élevages caprins et efficacité d'utilisation digestive des aliments chez deux races de chèvres locale (sahélienne) et importée (majorera) dans la région de Fatick (Sénégal).

1.5.3.2 Hypothèses de recherche

Les réponses à toutes ces questions participent à la validation des deux hypothèses suivantes de notre recherche :

Hypothèse 1 : L'analyse des pratiques d'élevage (affouragements et logements) est nécessaire à la compréhension des contraintes de productivité des chèvres et du niveau d'insertion de l'élevage caprin dans le tissu socioéconomique des exploitations traditionnelles de la région.

Hypothèse 2 : Une meilleure connaissance du comportement alimentaire des chèvres et de leur aptitude à l'utilisation métabolique des ressources fourragères des zones difficiles permettrait d'aider les éleveurs dans leur choix visant à optimiser le potentiel de production de viande et de lait des caprins.

1.6 Références bibliographiques

- ANSD. 2017. “Enquête Démographique et de Santé Continue (EDS-Continue 2017).” Dakar, Sénégal. 644p. www.ansd.sn.
- ANSD. 2019. “Situation Economique et Sociale Du Sénégal Ed. 2016.” Dakar, Sénégal. ISSN 0850-1491. 372p. www.ansd.sn.
- Anne-laure L. 2019. “Relation entre le microbiote ruminal et le parasitisme gastro-intestinal chez 2 lignées divergentes de moutons résistante et sensible aux strongles digestifs.” Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT. 116p.
- Bava L., Rapetti L., Crovetto G.M., Tamburini A., Sandrucci A., Galassi G., and Succi G.. 2001. “Effects of a Nonforage Diet on Milk Production , Energy , and Nitrogen Metabolism in Dairy Goats throughout Lactation.” *Journal of Dairy Science* 84 (11): 2450-2459. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74695-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74695-4).
- Benson, A. K., Kelly, S.A., Legge, R., Ma, F., Jen, S., Kim, J., Zhang, M. and al. 2010. “Individuality in Gut Microbiota Composition Is a Complex Polygenic Trait Shaped by Multiple Environmental and Host Genetic Factors.” *PNAS* 107 (44): 18933-18938. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007028107>.
- Bi, Y., Madison S. C., Zhang, F., Suen, G., Zhang, N. and Tu, Y. 2019. “Feeding Modes Shape the Acquisition and Structure of the Initial Gut Microbiota in Newborn Lambs.” *Environmental Microbiology* 21 (7): 2333–46. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14614>.
- Boursin, D. 2020. “Impacts Socio-Économiques Des Changements de Mode d'élevage: Etude de Cas Dans La Région de Fatick, Sénégal.” Mémoire de fin d'études. Université de Liège. 38p. <https://matheo.uliege.be>.
- Buyschaert, A. 2016. “Etude Des Effets de l ' Alimentation Sur La Production et La Composition Du Lait Chez La Chèvre Laitière Haute Productrice.” Mémoire de fin d'études, Université Catholique de Louvain. 128p.
- Capgenes. 2019. “Magazine Capgenes.” Vol. 3: 20p.
- Capote, J., Delgado, J.V., Fresno, M., Camacho, M.E. and Molina, A.. 2002. “Morphological Variability in the Canary Goat Population.” *Small Ruminant Research* 27 (2): 167-172. [https://doi.org/10.1016/s0921-4488\(97\)00047-3](https://doi.org/10.1016/s0921-4488(97)00047-3).
- Chamchadine, M.A.. 1994. “Comportement Alimentaire Et Performances Comportement Alimentaire Et Performances .” Ecole Inter- Etats Des Sciences Et Médecine Vétérinaires (E.I.S.M.V.). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar. N°1: 102p.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J. and Lamberet, G. 2010. “A Review of Nutritional and Physiological Factors Affecting Goat Milk Lipid Synthesis and Lipolysis.” *Journal of Dairy Science* 86 (5): 1751-1770. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(03\)73761-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(03)73761-8).
- CSAO-OCDE/CEDEAO. 2008. “Élevage et Marché Régional Au Sahel et En Afrique de l ' Ouest Potentialités et Défis.” Rapport N° 2. 75775 Paris Cedex 16, France. 182p.
- Decandia, M., Cabiddu, A., Sitzia, M. and Molle, G.. 2008. “Polyethylene Glycol Influences Feeding Behaviour of Dairy Goats Browsing on Bushland with Different Herbage Cover” 116: 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.10.001>.
- Decandia, M., Molle, G., , M., Cabiddu, A., Ruiu, A., Pampiro, F. and Pintus. A.. 2000. “Effect of Polyethylene Glycol on Browsing Behaviour and Performance of Late Lactating Goats.” *CIHEAM* 150 (52): 147-150. <http://www.ciheam.org/>.

- Dieye P.N. , Duteurtre, G. and Ly, C. 2000. “Synthèse bibliographique sur les filières laitières au Sénégal.” Dakar, Sénégal. 47p. www.repol.sn.
- Diouf, M.B. 2012. “Alimentation des caprins dans la région de Fatick (Sénégal): pratiques, ressources, compléments disponibles et possibilités d’amélioration.” Ecole Inter- Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires (E.I.S.M.V.). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal. N°30: 138p..
- Djakba, A. 2007. “Evaluation des parametres de reproduction chez la chèvre du sahel inseminée artificiellement dans la région de Fatick.” Ecole Inter- Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires (E.I.S.M.V.). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal. N°39: 89p.
- Dulphy, J.P., Martin-Rosset, W., and Jouany, J.P. 1995. “Ingestion et digestion comparées des fourrages chez différentes espèces d’herbivores.” *INRA Productions Animales*. 8 (4): 293-307.
- Dusart, C.. 2014. “La digestion ruminale : Mise en place d’un modèle d’étude in vitro à long terme en cultures Batch.” Université de Toulouse. 114p. <http://oatao.univ-toulouse.fr/>.
- Eloe-fadros, E. A. and Rasko, D.A. 2013. “The Human Microbiome: From Symbiosis to Pathogenesis.” *The Annual Review of Medicine* 64: 145-163. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-010312-133513>.
- Enriquez-Sarano, F.. 2000. “Autres Repères, Autres Paysages.” *Le Courrier de l’environnement de l’INRA* 41: 91-96.
- Fanny, C., Phocas, F. and Morgavi, D.P.. 2014. “Intégrer La Caractérisation Du Microbiote Digestif Dans Le Phénotypage de l’ Animal de Rente : Vers Un Nouvel Outil de Maîtrise de La Santé En Élevage ?” *INRA Productions Animales*. 27 (3): 209-222. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2014.27.3.3068>.
- FAO. 2008. “Rapport Sur l’élevage 2006.” Viale delle Terme di Caracalla 00153 Rome, Italie. copyright@fao.org. 102p.
- Gallouin, F. and Focant, M. 1980. “Bases Physiologiques Du Comportement Alimentaire Chez Les Ruminants.” *Reproduction Nutrition Développement* 20 (5B): 1563-1614.
- Garrett, P.D. 1988. “Guide to Ruminant Anatomy Based on the Dissection of the Goat Des Normes Vétérinaires Vestal à La Biologie,” 329-335.
- Gillerot, A. 2018. “ L’élevage caprin et la filière lait de chèvre dans la région de Fatick, au Sénégal: Diagnostic et perspectives d’une initiative d’émergence d’une dynamique laitière territoriale. Mémoire de fin d’études. Master Agris Mundus Sustainable Development in Agriculture. SupAgro Montpellier, France. 102p.
- Gnanda, I.B. 2008. “Importance socio-économique de la chèvre du sahel burkinabè et amélioration de sa productivité par l’alimentation.” Université polytechnique de bobo-dioulasso. 210p.
- Goetz, V. 2011. “Le projet d’amélioration de la filière caprine de Fatick (PAFC) au Sénégal.” 13p.
- Gonçalves, A. L., Rogério, P. L., Marcelo, T. R., Augusto, R., Mendonça V., Augusto C. Q., and Douglas S. H.. 2001. “Nictemeral Pattern of Ruminant PH and Feeding Behavior of Dairy Goats Fed Diets with Different Roughage to Concentrate Ratio.” *Revista Brasileira de Zootecnia* 30 (6): 1886-1892.
- Hazebrouck, S.. 2016. “Laits de chèvre, d’ânesse et de Chamelle : Une alternative en cas d’allergie au lait de vache ?” *Innovations Agronomiques* 52: 73-74.
- Hobson, P.N. and Stewart, C. S. 1997. *The rumen microbial ecosystem*. 740p.

- Hurez, C.. 2015. “Approche Phytothérapeutique de La Diarrhée d’origine Alimentaire de La Chèvre Laitière : Protocole de Comparaison de l’efficacité de Deux Traitements.” Université de Créteil. 120p.
- Kahi, A.K. and Wasike, C.B. 2019. “Special Issue — Dairy goat production in sub-saharan Africa : Current status , constraints and prospects for research and development” 32 (8): 1266-1274.
- Klein-jo, D., Feldbacher, B., Wagner, M., Drillich, M., Schmitz-esser, S. and Mann Id, E. 2019. “Microbiota of Newborn Calves and Their Mothers Reveals Possible Transfer Routes for Newborn Calves ’ Gastrointestinal Microbiota.” *PLoS ONE* 14 (8): 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220554>.
- Koluman, N. and Silanikove, N. 2018. “The advantages of Goats for future adaptation to Climate Change: A conceptual overview.” *Small Ruminant Research* 163: 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.04.013>.
- Kosgey, I.S. and Okeyo, A.M. 2007. “Genetic improvement of small ruminants in low-input, smallholder production systems: Technical and infrastructural issues.” *Small Ruminant Research* 70 (1): 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.01.007>.
- Larue, R., Yu, Z., Parisi, V.A., Egan, A.R. and Morrison, M. 2005. “Novel microbial diversity adherent to plant biomass in the herbivore gastrointestinal tract, as revealed by ribosomal intergenic spacer analysis and Rrs Gene Sequencing.” *Environmental Microbiology* 7 (4): 530-543. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2004.00721.x>.
- Lebbie, S.H.B.2004.“ Goats under household conditions” *Small Ruminant Research* 51:131-136. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.015>.
- Lee, H.S., and Lee, I.D. 2002. “A study on the dry matter yield and nutritive values of Wild Korean Lespedeza (Lespedeza Stipulacea Maxim .).” *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 15 (3): 396-400.
- Lin, C., Raskin, L. and Stahl, D.A. 1997. “Microbial Community Structure in Gastrointestinal Tracts of Domestic Animals: Comparative Analyses Using RRNA-Targeted Oligonucleotide Probes.” *FEMS Microbioly Ecology* 22: 281-294.
- Li, F., Li, Ch., Chen, Y., Liu, J., Zhang, Ch., Irving, B. and Fitzsimmons, C. 2019. “Host Genetics Influence the Rumen Microbiota and Heritable Rumen Microbial Features Associate with Feed Efficiency in Cattle.” *Microbiome* 7 (92): 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40168-019-0699-1>.
- Lu, C.D., Kawas, J.R. and Mahgoub, O.G. 2005. “Fibre digestion and utilization in Goats.” *Small Ruminant Research* 60: 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.035>.
- Mandonnet, N., Tillard, E., Faye, B., Collin, A., Naves, M., Bastianelli, D. and Renaudeau, D. 2011. “Adaptation des animaux d’élevage aux multiples contraintes des régions chaudes.” *INRA Productions Animales* 24 (1): 41-64.
- Martin, R., Makino, H., Yavuz, A. C. and Ben-amor, K. 2016. “Early-Life Events , Including Mode of Delivery and Type of Feeding , Siblings and Gender , Shape the Developing Gut Microbiota.” *PLoS ONE* 11 (6): 1–30. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158498>.
- Michelland, R.J. , Combes, S., Monteils, V., Bayourthe, C., Cauquil, L., Enjalbert, F., Julien, C., Kimse, M., Troegeler-Meynadier, A., Zened, A., Gidenne, T. and Fortun- Lamo, L. 2012. “Analyse comparée des écosystèmes digestifs du rumen de la vache et du caecum du lapin.” *INRA Productions Animales*. 25 (5): 395-406.
- Michelland, R.J., Monteils, V., Zened, A., Combes, S., Cauquil, L. and Gidenne. T.. 2009. “Spatial

- and temporal variations of the bacterial community in the bovine digestive tract.” *Journal of Applied Microbiology* 107: 1642-1650. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04346.x>.
- Missohou, A., Diouf, L., Sow, R.S. and Wollny, C. B.A.. 2004. “Goat milk production and processing in the NIAYES in Senegal.” *South African Journal of Animal Sciences* 34 (5SUPPL.1): 151-154.
- Missohou, A., Nahimana, G., Ayssiwede, S.B. and Sembene, M. 2016. “Elevage caprin en Afrique de l'Ouest : Une Synthèse.” *Revue d'élevage et de Médecine Veterinaire Des Pays Tropicaux* 69 (1): 3-18.
- Morand-Fehr, P. 1980. “Particularités Nutritionnelles Des Caprins.” In *Seminaire G.T.V.- INRA de Tours, 7 Octobre 1980*. Tours, France: INRA. 17p.
- Morgavi, D.P., Kelly, W.J., Janssen, P.H. and Attwood, G.T. 2013. “La (Méta) génomique des microorganismes du rumen et ses applications à la production des ruminants.” *INRA Productions Animales*. 26 (4): 347-362.
- Morou, I., Rippstein, G. 2004. “Développement des cultures fourragères dans le Bassin arachidier au Sénégal : Typologie des paysans pour la production de fourrages.” 1: 52p.
- Navarro-Ríos, M.J., Fernández, G. and Perezgrovas, R.. 2011. “Characterization of Majorera Goat production systems in the Canary Islands.” *Economic, Social and Environmental Sustainability*
- Nordmann, E., Keil, N.M., Wagner, C.S., Graml, C., Langbein, J., Aschwanden, J., Hof, J.V., Maschat, K., Palme, R. and Waiblinger, S. 2011. “Feed barrier design affects behaviour and physiology in Goats.” *Applied Animal Behaviour Science* 133 (1–2): 40-53. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.04.016>.
- Onzima, R. 2014. “Economic Analysis of Cross Breeding Programs for Indigenous Goat Breeds in Uganda.” In *10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production Economic*, 4. Wageningen University, The Netherlands. 4p.
- Onzima, R.B., Upadhyay, M.R., Doekes, H.P., Brito, L.F. and Huson, H.J. 2018. “Genome-wide characterization of selection signatures and runs of homozygosity in Ugandan goat breeds.” *Frontiers in Genetics* 9: 1-13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00318>.
- Patricia L. 2019. “Etude de l’impact d’une modification de l’alimentation des chèvres laitières de la ferme de la Baillerie (Belgique) dans une optique d’autonomie alimentaire.” Université catholique de Louvain, Belgique. 99p. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:19641%0ALe>.
- Pitta, D.W., Indugu, N., Baker, L., Vecchiarelli, B. and Attwood, G. 2018. “Symposium Review : Understanding diet – Microbe interactions to enhance productivity of dairy cows.” *Journal of Dairy Science* 101 (8): 7661-7679. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13858>.
- Rooke, J.A., Wallace, R.J., Duthie, C.A., Mckain, N., De Souza, S.M., Hyslop, J.J., Ross, D.W., Waterhouse, T. and Roehe, R. 2014. “Hydrogen and methane emissions from Beef cattle and their rumen microbial community vary with diet , Time after feeding and genotype.” *British Journal of Nutrition* 112: 398-407. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000932>.
- Sacré, H. 2020. “L’influence des pratiques d’élevage caprin dans la région de Fatick (Sénégal) sur la présence d’antibiotiques dans les produits laitiers.” Mémoire de fin d’études. Université de Liège. 39p. <https://matheo.uliege.be>.
- Segata, N., Haake, S.K., Mannon, P., Lemon, K.P., Waldron, L., Gevers, D., Huttenhower, C. and Izard, J. 2012. “Composition of the adult digestive tract bacterial microbiome based on seven mouth surfaces , tonsils , throat and stool samples.” *Genome Biology* 13 (6): 18p. <http://genomebiology.com/2012/13/6/R42>.
- Sengar, O.P.S.1980. “Indian Research on Protein and Energy requirements of goats.” *Journal of Dairy*

- Science* 63: 1655-1670. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83128-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83128-6).
- Sow, F., Niang, K., Camara, Y., Traoré, E.H., Moula, N., Cabaraux, J.F., Missohou, A. and Hornick, J.L. 2020. “Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility and Energy and Nitrogen Uses in Sahelian and Majorera Dairy Goats Fed Hay of *Vigna Unguiculata*.” *Animals* 10: 1–11. <https://doi.org/doi:10.3390/ani10050861>.
- Sweeney, C., Palmer, P. and Bunch, R. 1999. “Isolation and characterization of proteolytic ruminal bacteria from sheep and goats Fed the tannin-containing shrub legume *Calliandra calothyrsus*.” *Applied and Environmental Microbiology* 65 (7): 3075-3083.
- Théogène, S. 2009. “Evaluation de l’impact des paramètres protéiques et enzymatiques sur le taux de réussite de l’insémination artificielle caprine dans la région de Fatick.” Ecole nter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaire. Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal. 32: 90p.
- McCracken, T.O., Kainer, R.A. and Spurgeon, T.L. 2006. *Spurgeon’s Color Atlas of Large Animal Anatomy: The Essentials*. Ed.1. 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014, USA: Blackwell Publishing. 181p.
- Toutiou, F. Impact de la sélection génétique sur la résistance à *Haemonchus contortus* et de l’apport alimentaire de protéines sur le microbiote ruminal et l’efficacité alimentaire de brebis gestantes et allaitantes. Thèse d’exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT. 2019. 218 p.
- Voicu, I., Burlacu, G., Criste, R.D., Voicu, D., Tsiplakou, E., Fletakis, E., Kouri, E.D. et al. 2008. “Relationship between milk urea level, protein feeding and urinary nitrogen excretion in high producing Dairy Goats.” *Journal of Animal Science* 93 (1): 96-100. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.07.007>.
- De Vries, J. 2008. “Goats for the Poor: Some keys to successful promotion of goat production among the poor.” *Small Ruminant Research* 77 (2–3): 221-224. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.006>.
- Zoetendal, E., and Mackie, R. 2014. *Molecular methods in microbial ecology*. Edited by Gerald W. Tannock. Caister Academic Press. 1-25p.

Section expérimentale

Chapitre 2-Etude 1

Characterisation of small-holders' goat production systems in the Fatick area, Senegal

Article publié dans le journal Pastoralism

Sow et al. Pastoralism: Research, Policy and Practice (2021) 11:12.
<https://doi.org/10.1186/s13570-021-00195-4>

- 2 *Etude 1: Characterisation of small-holders' goat production systems in the Fatick area, Senegal*

Préambule

Afin de contribuer à l'organisation de la filière caprine, il est important de comprendre sa place dans ce système de production. L'objectif de l'étude est de décrire les systèmes de production caprine en milieu rural, en mettant en évidence la typologie des éleveurs afin de dégager les voies d'amélioration et de faciliter la participation à la formulation des politiques de développement du secteur.

Ce chapitre est écrit sous forme d'article et accepté pour publication dans le journal Pastoralism, le 01 mars 2021.

Characterisation of small-holders' goat production systems in the Fatick area, Senegal

Fafa Sow^{1,2*}, Younouss Camara², El Hadji Traoré², Jean-François Cabaraux³, Ayao Missohou⁴, Nicolas Antoine-Moussiaux³, Jean-Luc Hornick^{1, 3}, Nassim Moula³

¹*University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management and Nutrition Unit, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;*

²*Senegalese Institute for Agricultural Research (ISRA), Bel Air, Routes des Hydrocarbures, BP 3120 Dakar, Senegal;*

³*University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management, FARAH Center, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;*

⁴*Office of Zootechnie-Feeding, Inter-State School of Veterinary Science and Medicine (EISMV), BP 577 Dakar, Senegal*

*Correspondence: sowvet2002@yahoo.fr

2.1 Abstract

Senegal, as other Sahel countries, is still an important livestock breeding area, particularly for ruminants, with nearly 36% of the goat population in 2016. The national herd increased from 2010 to 2016, from 3.32 to 3.54 million head of cattle, 5.6 to 6.68 million sheep and 4.8 to 5.7 million goats, i.e. annual growth rates of 1.1%, 3.2% and 3.13% respectively. Thus, due to diversification of local agricultural resources and the strengthening of goat breeding techniques in the Fatick area, a programme aiming to develop the local goat sector was set up in 2010. The programme focused on improving animal husbandry, providing new added values to goat products and structuring the goat sector. This study's aim is to better understand goat rearing systems in the area, in order to propose, together with the herders, ways of improving these systems, taking into account family and socio-cultural considerations. To better evaluate the diversity in different production systems, a survey of animal rearing practices was carried out. The survey involved 45 farmers in four localities. It revealed that the farmers were all agro-pastoralists practising a mixed farming system. The majority (93%) supplemented their animals with agricultural by-products, agro-forestry and kitchen leftovers. A multiple correspondence analysis identified three groups: cluster 1 (milk producers and processors into traditional curdled milk, selling animals for household needs), cluster 2 (milk processors into yoghurt and cheese) and cluster 3 (goat vendors in pastoral and the agro-pastoral system).

The study of the objectives and contexts of goat farming in the Fatick will enable policy-makers to design strategies for the sustainable development of family goat farming in the area.

Keywords: Multivariate analysis, Meat, Milk, Production systems

2.2 Introduction

In developing countries, livestock farming is facing the challenge of an increasing demand for animal products, which is expected to double by 2050 (FAO 2011). At the same time, in the context of ongoing global changes (climate, demographics, pressure on resources, and urbanisation), there is a priority issue of vulnerability of populations who relying on livestock. In Senegal, in the field of agricultural production, livestock is a strategic sector of the national economy, present in nearly 60% of farming households. Livestock accounts for 4.6% of the Gross Domestic Product and contributes nearly 0.2% to its growth, which was 4.3% in 2014 (ANSD 2017). Goat farming is a key agricultural sector in developing countries. Indeed, about 35% of the world's goat population is found in Africa (Skapetas and Bampidis 2016). According to FAOSTAT 2019, Senegal has more than 6,200,000 goats, representing 1.35% of the goat population in Africa. At present, goat breeding is increasingly the subject of special attention in programmes run by both the public authorities and veterinary research. According to Peacock (2008), goat farming, because of its productive potential and multi-functionality, can play a major role in the fight against poverty and food insecurity. Its economic role in pastoral areas, through its Character of mobilisable savings, gives it an increasingly important place in sectors where women are strongly involved (De Vries 2008). Thus, in order to increase the level of productivity (milk and meat), a Goat Farming Sustaining Program (PAFC) was set up in 2010, as part

of the decentralised cooperation between the regions of Fatick in Senegal and Poitou Charente in France. The programme aimed at helping populations. To combat poverty in rural areas, focusing on improving livestock management, adding value to goat products and structuring the goat sector (Goetz 2011). Although the programme meets certain expectation of the actors (better valorisation of milk, reduction of youth mortality, grouping in associations), but its approach has not in reality allowed to take into account the farmers' social and economic logics and imaginations as well as other needs that are indispensable for adoption of the proposed innovations. All the goat farmers, who preferred instead to introduce an improving buck into their farms, abandoned the practice of artificial insemination, which was the project's main innovation in reproduction. This programme intervened in an area that is dominated by a traditional goat-rearing system. This system depends on available natural resources, where several factors limit its development, including continuous exploitation of land under cultivation and a considerable reduction in available fodder (Coly et al. 2011). In order to contribute to the organisation of the goat sector, the traditional production system must be understood. The present study thus aimed to characterise the goat production systems prevailing in the region, to identify gaps in order to inform uptake pathways, facilitate policy formulation and strengthen the capacity for improvement and investment in goat breeding development programmes.

2.3 Materials and Methods

2.3.1 Study Area

The Fatick area is centrally located at 14° 21.4836' N and 16° 35.1498' W. It covers an area of 6685 km², with a population of 714,389 inhabitants or 5.3% of the national population (ANSD 2017). The climate is Sudano-Sahelian, with rainfall ranging from 600 up to 700 mm. The average annual minimum temperature varies between 21 and 24 °C from December to the end of February, while the maximum temperature varies between 35 and 42 °C, particularly from March to June (ANSD 2017). The soil has a high salt content particularly high in fluorine, which makes nearly 266,500 ha hostile to agriculture, i.e. 33.6% of the total area of the region. The vegetation, characteristic of the Sudanese zones, has undergone deep changes due to anthropic action and drought. This has shaped landscapes, possibly leading to the formation of mangroves and forests. Various mangrove species (*Avicennia nitida*, *Rhizophora racemosa* and *Langunculari sp.*) occupy the shores of the inlets (Coly et al. 2011). The livestock population consists mainly of small ruminants, with approximately 755,000 animals representing 59% of the livestock in the area (Amadou Hamidine KANE 2019). Goats represent 52.38% of small ruminants in the Fatick area (Goetz 2011).

2.3.2 Data Collection

Structured individual interviews were conducted in August 2017 on 45 goat breeders (with 91% of women and 9% of men) affiliated to ARECAP member groups in 4 villages. The questionnaire (Table 1) consisted of open and closed questions and covered (i) socio-economic characteristics of the household, (ii) motivation for keeping goats, (iii) characteristics of the goat flock and (iv) method of breeding.

2.3.3 Statistical analysis

To establish a typology of the herds, we selected 12 variables from the questionnaire that address important herd characteristics and conducted a multiple correspondence analysis (MCA) followed by a hierarchical classification analysis (HCA) package. In each village, the entry point for our interviews was the group of breeders belonging to the goat breeders' association. This approach allowed investigators to work confidently with the goat farmers' FactoMineR, functions MCA and hierarchical clustering on principle components (Agro Campus Ouest, Rennes, France). The variables used for MCA and HCA are described in Table 1.

Chi-square or Fisher's exact tests were conducted to evaluate the dependence between clusters and categorical variables as well as between categorical variables, and the Kruskal-Wallis test was used to compare quantitative variables between clusters.

Multiple correspondence analysis is a method used to summarise a set of categorical variables into a small number of dimensions. We used these dimensions in the hierarchical classification analysis to group respondents according to the group to which they belong. Village, sex and ethnicity

variables were used as an illustrative variable; it did not actively affect the construction of dimensions but projected on them to ease the interpretation of the generated clusters. Finally, we used chi-square and exact Fisher's tests to assess if these variables, socio-economic characteristics of households, motivation for keeping goats, characteristics of the goat flock and method of breeding from sampled farmers, were significantly different among these clusters. For all analyses, p values were set at 1%. Graphical displays present the proximities between the subjects and show the associations between the categorical variables.

Table 3.1. List of qualitative variables used in the MCA

Variables	Codes	Modalities
Educational Level	Educ	Educ1= literacy Educ2= primary Educ3= secondary Educ4= quranic
Buck Breed	Breed	Breed 1 = local Breed 2 = crossbred Breed 3 = exotic
Grazing Modes	GrazMod	Mod 1 = mixed crop livestock system Mod 2 = herding and tethering Mod 3 = free grazing
Animal Housing	House	House 0 = homeless House 1 = shelters
Milk Processing	Proc	Proc 0 = no process Proc 1 = curdled milk Proc 2 = cheese and yogurt
Milking	milk	milk 0 = no milking

		Milk 1 = milking	
Motivation to keeping goat	Motivation	Motivation 1 = cash income and Consumption (milk and/or meat)	Self
		Motivation 2 = milk	
		Motivation 3 = both	
Birth size	BSize	Single birth	
		Double birth	
Common diseases	Disease	Disease 1 = respiratory disease	
		Disease 2 = digestive disease	
		Disease 3 = skin disease	
		Disease 4 = parasitic disease	
Bovine keeping	Bov	Bov 0 = keep cattle	
		Bov 1 = no bovine	
Sheep keeping	Sheep	Sheep 0 = keep sheep	
		Sheep 1 = no sheep	
Household size	HSize	Small :1 to 5 members	
		Medium: 6 to 10 members	
		Large: > 10 members	

2.4 Results

2.4.1 Socio-economic characteristics

Descriptive analysis shows that the farmers interviewed were almost all women (91%) with only 4 men. The main ethnic group was the Serrer (98%) with only one Peulh (2%). Three household levels were cited: small households with 1 to 5 members (11% responses), medium households with 6 to 10 members (51% responses) and large households with more than 10 members (38% responses). In terms of education, 69% of the herders had not attended school. Out of the 14 who did, 4 attended

Quranic school, 6 primary school and 4 secondary school. All respondents were married. The majority (80% of responses) declared that they sold mainly male goats.

2.4.2 Characteristics of goat flock and method of breeding

In the study area, the goat breeders often kept multi-species holdings, mainly together with cattle and sheep (20% and 58% of respondents, respectively). The number of goats per herd varied from 3 to 30 heads, with a median value of 8. The proportion of adult female goats ranged from 25 to 92% with a median value of 57%. The majority of the farmers (80%) reported twin births. Only 4.4% of the breeders used a crossbred male as a genitor, while the others used a male from a local breed. Two methods of goat rearing were practised: (i) mixed crop-livestock mode mainly (93.3%) where animals graze natural pastures on common grazing or around the concessions and are supplemented with preserved fodder or agro-forestry residues and kitchen leftovers and (ii) secondary grazing mode (7%) where the animals' diet depends mainly on natural pastures. Only 16% of the people surveyed kept animals in goat sheds, compared to the majority (84%) who housed their animals in open-air pens. The most frequently declared diseases were respiratory (58%), digestive (29%), dermatological (11%) and parasitic (2.2%). The selling age of male goats was between 6 and 48 months, with a median value of 13 months, and that of females was between 12 and 156 months, with a median value of 90 months. Thirty-eight goat breeders (84% of the respondents) gained incomes from the sale of goats, with a selling price per animal ranging from 15,000 to 40,000 FCFA (22.9 to 61.0 €) and a median value of 25,000 FCFA (30.1 €).

2.4.3 Motivation for keeping goats

There were three main motivations for keeping goats: cash income, milk and/or meat consumption and milk production in the majority (62%) holdings; cash income and meat consumption (29%); and finally milk production alone for income and/or home consumption (9%). Among the respondents, two-thirds processed milk either as curdled milk (60%) or as yoghurt and cheese (6.7%), while the rest did not process milk.

2.4.4 Typology of the goat production systems

2.4.4.1 Multiple Correspondence Analysis (MCA)

The amount of variation explained by each dimension of the MCA (inertia) is given in Fig.1. From this, we retained only the first three dimensions (axis) (39.1% of the total variance) because each additional dimension contributed little to the total variance. The multiple correspondence analysis was performed on 12 variables with 29 modalities, contributing to the formation of the first three axes. The first axis (accounts for 17% of the total variation, Fig. 2) appears as opposing the grazing strategy practised by men to one of the mixed crop-livestock system practised by women.

The second axis (11.7% of the total variation) opposes mixed breeding (goat, sheep and cattle) to only goat breeding and is strongly associated with goat flock size ($p < 0.01$). The third axis (10.5% of the total variation, Fig. 3) separates herders who made yoghurt and cheese from those who made curdled milk.

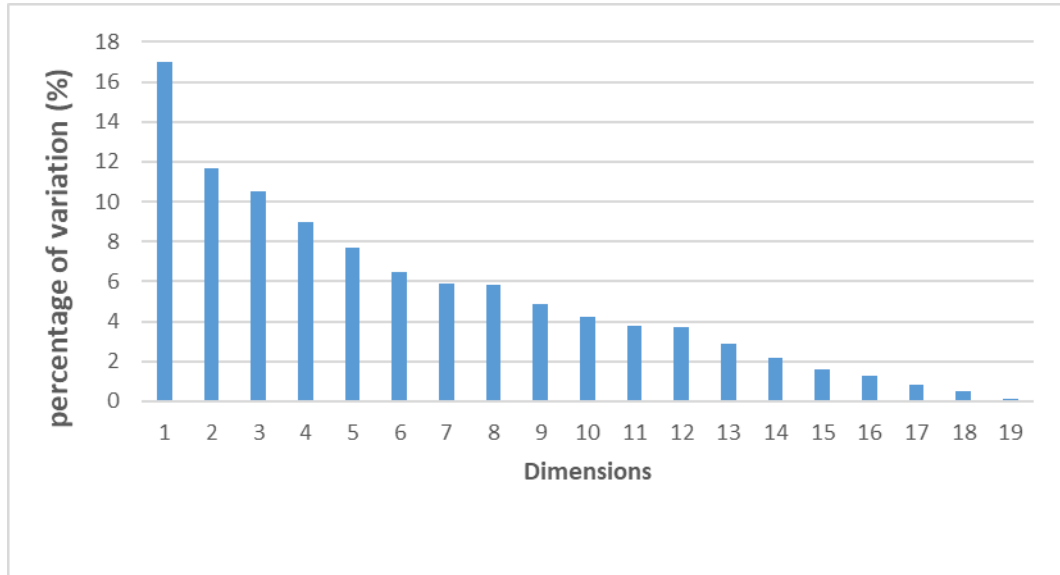


Fig. 1 Percentage of the contribution of each dimension to the total inertia

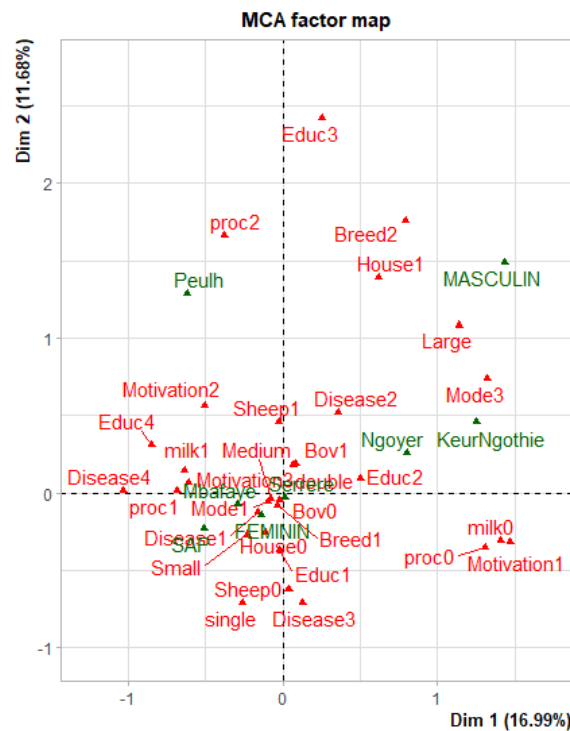


Figure 2. Modalities associated to axes 1 and 2 of MCA applied to the typology of goat production systems in the Fatick region, Senegal (see Table 1 for the signification of codes).

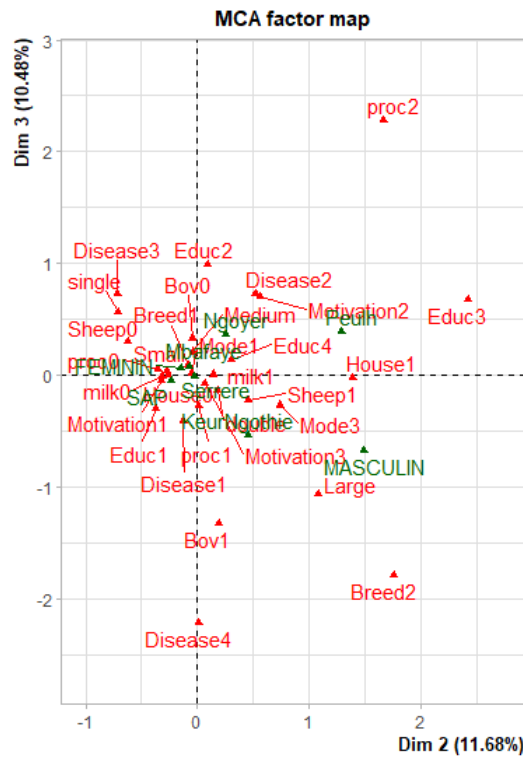


Figure 3. Modalities associated to axes 2 and 3 of MCA applied to the typology of goat production systems in the Fatick region, Senegal (see Table 1 for the signification of codes).

Table 2: Distribution of responders per categories for the three clusters identified by the hierarchical classification analysis.

Variables and categories	Cluster1	Cluster2	Cluster3	Total	pvalue
Educational level					***
Literacy education	21	0	10	1	
Primary education	3	0	3	6	
Secondary education	0	4	0	4	
Quranic education	4	0	0	4	
Buckbreed					NS
Local breed mating	27	3	13	3	

Crossbreeding	1	1	0		
Grazingmode					NS
Mixed crop-livestock system	27	4	11	2	
Free grazing	1	0	2		
Animal housing					NS
Unsheltered	25	2	11	8	
Sheltered	3	2	2		
Milk process					***
No milk processing	1	1	13	5	
Milk curdling	26	1	0	7	
Cheese and yoghurt processing	1	2	0		
Milking					***
No milking	0	1	13	4	
Milking	28	3	0	1	
Motivation of keeping goat					***
Cash income and self consumption	0	1	12	3	
Milk	3	1	0		
Cash income and self consumption and milking	25	2	1	8	
Birth size					NS
Single births	7	0	2		
Twin births	21	4	11	6	
Common diseases					*

Respiratory disease	19	1	6	6	
Digestive disease	5	3	5	3	
Dermatosis disease	3	0	2		
Parasitosis disease	1	0	0		
Bovine					NS
No bovine keeping	22	3	11	6	
Bovine keeping	6	1	2		
Sheep					NS
No sheep keeping	12	0	7	9	
Sheep keeping	16	4	6	6	
Household size					NS
Small household: 1 to 5 members	12	1	4	7	
Medium household: 6 to 10 members	14	2	7		
Large household: > 10 members	2	1	2		

NS not significant

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$,

2.4.4.2 Ascending Hierarchical Classification and Group Description

The hierarchical classification described three clusters (Fig.4, Tables 2 and 3). The chi-square test showed a strongly statistically significant difference between the clusters ($p < 0.001$) for the variables 'Milk processing', 'Education level' and 'Motivation to keep goat', and a significant difference between the clusters for 'Goat flock size' ($p < 0.05$).

Group 1 ($n = 28$; 62.2% of the total surveyed breeders) could be considered as belonging to milk-producing breeders, running a mixed crop-livestock system (96.4% of respondents). In this group, breeders were almost all women (96.4%). This group mainly comprised small (42.9%) or medium size households (50%). They owned from 3 to 30 goats,

with a median value of 8 goats (mean \pm sd 10.5 ± 6.7). The majority of these breeders (96.4%) held local breed bucks in the flock for mating.

The majority of births were twins (77.4%). The majority of farmers (2/3) combined goat with sheep rearing, while only 6 combined goat rearing with cattle. Almost all farmers (89%) in this group kept their animals in open-air pens. This practice was significantly associated to the prevalence of diseases reported. Respiratory diseases were the most commonly declared ones (68%), followed by digestive diseases (18%), while dermatosis and parasitosis were the least cited, with 3 and 1 respondents, respectively. The vast majority of farmers were illiterate (75% of farmers in this group). Among them, 7 were enrolled in school, 4 attended Quranic school and 3 primary school. Their motivations for raising goats were milk production and income from the sale of animals or self-consumption (89%). The farmers produced (100%) and processed (92.9%) milk into curdled milk for self-consumption. Sales were dictated by the needs of the household or farm at an average price per animal of 25.200 ± 5.400 FCFA (38.4 ± 8.2 €). The average male and female goat selling age was 18 ± 9.5 months and 87 ± 26 months, respectively.

Group 2 ($n = 4$; 8.9% of the total surveyed breeders) could be qualified as innovators-breeders. They all combined sheep with goat farming. In contrast to group 1, farmers in group 2 had a secondary level of education and processed milk into yoghurt and cheese. They belonged to middle-sized households (50% of respondents). They owned larger goat flocks ranging from 9 to 24 goats, with a median value of 18 animals (mean \pm sd 17 ± 6.6). All farmers in this group reported twin births in their goat flocks. The average selling age of males and females was 20 ± 11 months and 103 ± 32 months, respectively, with an average selling price per animal of $23,100 \pm 1700$ FCFA (35.2 ± 2.6 €).

Group 3 ($n = 13$; 28.9% of the total surveyed) could be considered as goat meat producers. This group presented many similarities with group 1. Unlike groups 1 and 2, farmers did not consume or process milk (100% of respondents) and included more males. Their main motivation for raising goats was to generate cash income through the sale of animals and self-consumption (socio-cultural events). Middle-sized households accounted for 50% of respondents. This group includes herders who owned the smallest goat flocks ranging from 4 to 12 goats, with a median value of 8 goats (mean \pm sd = 8 ± 3). The average selling age of males and females was 19.2 ± 8.4 months and 77.9 ± 19 months, respectively, with an average selling price per animal of $24,100 \pm 4600$ FCFA (36.7 ± 7 €).

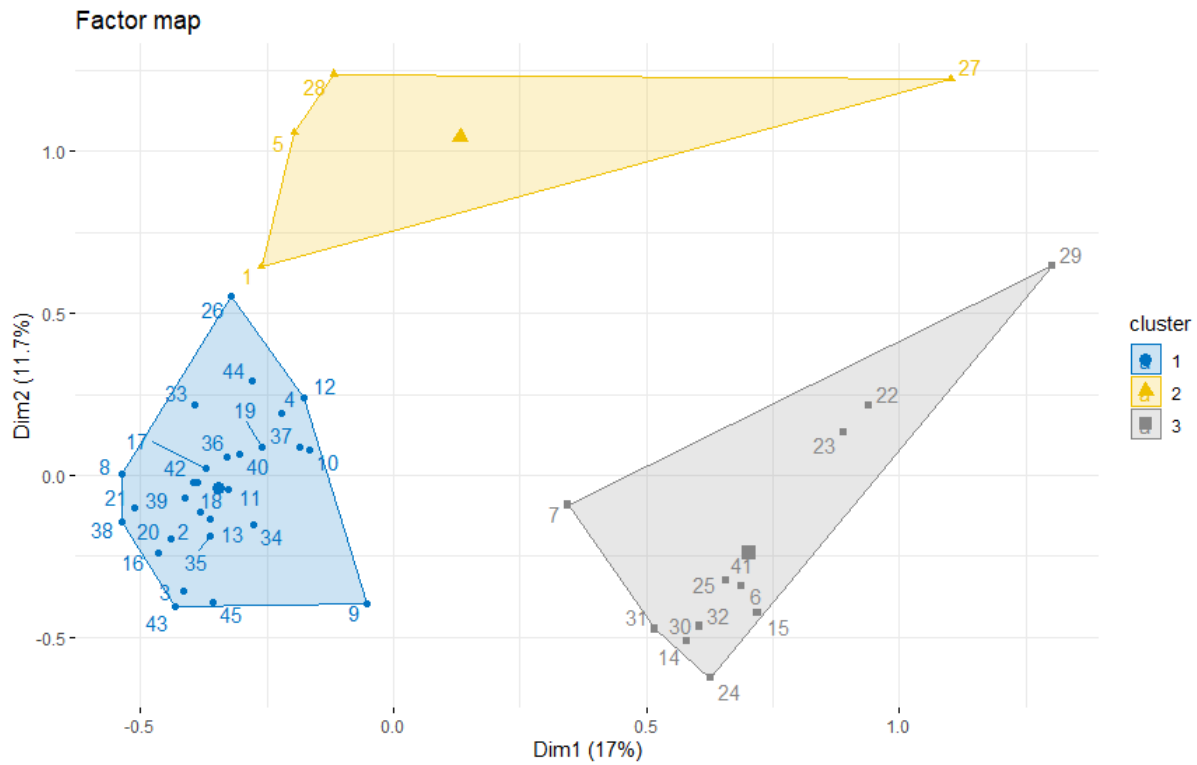


Figure 4. Ascending hierarchical classification of the goat breeders applied to the typology of goat production systems in the Fatick region, Senegal.

Table 3: Quantitative variables characteristics of goat farms for the three clusters identified by the hierarchical classification analysis

Variables	Cluster1	Cluster2	Cluster3	P-value
TotalGoat: median; (mean, sd)	8; (10.5 ± 6.7) ab	18; (17 ± 6.6) a	8; (8 ± 3) b	*
Femaladult.(%): median; (mean, sd)	56.5;(54.3 ± 13.0)	62;(60.8 ± 10.7)	50;(56.9 ± 19.43)	NS
Age.s.sale.Male (month): median; (mean, sd)	17;(17.6 ± 9.5)	15.1;(19.6 ± 11.47)	18.2;(19.2 ± 8.4)	NS
Age.s.sale.Female (month): median; (mean, sd)	85.5;(86.5 ± 25.9)	85.5;(103.1 ± 32.3)	85.5;(77.9 ± 19.2)	NS
Sale.s.price.goat (FCFA): median; (mean, sd)	25000;(25200 ± 5400)	23500;(23100 ± 1760)	24700;(24100 ± 4660)	NS

Treatments with the same letter are not significantly different between clusters

NS not significant, sd standard deviation

*p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001

2.5 Discussion

The main objective of this study was to characterise the goat production system of smallholders in the Fatick region, Senegal, in order to better identify shortcomings and strengthen capacities for improvement and investment in goat development programs.

2.5.1 Socio-economic characterisation and goat production system

The predominance of women (91%) in this study is in line with that already reported by (Djakba 2007) in the same area (63.4%). This could be ascribed to the traditional and cultural background of goat production systems in the Serere area and highlight the important role that women play in the socio-economic balance of rural households in Senegal (Missohou et al. 2004). The proportion of herders without formal education (68.9%) is high in this study. This low level of literacy among pastoralists is one of the factors that could impede the sector (Agossou and al. 2017). According to (Thioye 2015), poverty and the early marriage of women (under 18 years of age) accentuate the low level of schooling in rural areas.

2.5.2 Characteristics of the goat flock, breeding mode and goat production system

Almost all goat breeders practised agro-pastoral systems. According to Agossou and al. (2017), there is an extensive sedentary system where animals are grazed on fallow land and natural vegetation zones in the cropping season and then brought back to the cultivated areas after harvesting in the dry season. The presence of other species (sheep and cattle), especially sheep kept by the majority of respondents, indicates the interest of farmers in mixed farming of small ruminants in the study area. The common association of sheep (27.3%) and cattle (24.6%) with goat farming was previously reported in the area (Djakba 2007). In these rural areas, goats are generally used to meet the daily needs of the household in milk and meat, while sheep meat is more expensive and therefore kept for sale or important ceremonies such as Tabaski. Male goats were sold much earlier than those females. Our results showed that male goats are kept for cash income or socio-cultural ceremonies, while females are kept for milking and their reproductive careers. According to (Kosgey et al. 2008), males are sold before the age of reproduction in smallholders' goat production systems. The low numbers of goats (10 ± 6.1) per live-stock keepers classified as small family farms highlight their role in managing household emergencies. (Manirakiza et al. 2020) in a study in Burundi described the role of small family goat farms as 'wallet'. Our study underlines the close link between goat rearing and traditional practices, which is dominated by the mixed crop livestock system. According to Alexandre and Mandonnet (2005), Ahuya et al. (2009) and Iñiguez (2011), goats are usually associated with traditional production systems with low levels of external inputs. Local goats, despite their hardiness (Sow et al. 2020), are susceptible to certain diseases. The most cited by farmers were digestive, respiratory, dermatological and parasitic diseases. Djakba (2007) and Diouf (2012) reported similar findings in the same area. Almost all of the goat breeders surveyed (95.6% of

respondents) used a local buck as a genitor. While crossbred goats grow faster, local goats are more resistant to harsh conditions as previously reported (Tindano et al. 2015). However, no reproductive management was applied with animals of all categories being mixed all year round and mating was uncontrolled. Culling and renewal of breeding stock was therefore not reasoned according to individual performance.

2.5.3 Farmers motivations on the goat production system

In the study area, the primary motives for goat keeping were self-consumption and sale and secondary motives were only sale for cash income. According to Laouadi et al. (2018), goats may be a source of income throughout the year and contribute to the satisfaction of family needs for milk and meat. They are also a tool for cash flow, through their role as a ‘moneybox’, subsistence and security of agrarian systems in the front-line (Ruiz et al. 2008; Dieye et al. 2000; Missohou et al. 2016). Holding with the latter motives were management systems where goats were usually free to roam and save for food over the day (Agossou and al. 2017). The low rate of farmers motivated by milk production showed that milk product sales were not a priority, but rather intended for self-consumption by the family and the children for their growth. Moreover, dairy goats, unlike cattle, receive only weak public support policies. In general, dairy goats were neglected in milk production improvement schemes (Missohou et al. 2004). The use of goat dairy products remains largely traditional and based on a short circuit. This might be due to the weak organisation of the policy makers towards the sector in the study area (Camara et al. 2018), thus promoting a lack of competitiveness in the market (Udo et al. 2011; Missohou et al. 2016; Laouadi et al. 2018). According to Sanon (2007) and Sangaré (2009), the limited resources of small farmers limit their ability to adopt modern animal husbandry technologies, which require a certain amount of monetary and technical support.

2.5.4 Typology and goat production system

The findings that the use of goat farming was different across the groups of farmers, derived from the multivariate analyses, reveal two opposing groups as well as an intermediate one, showing innovation in terms of milk processing into yoghurt and cheese.

The first group was more invested in milk production and processing into curdled milk. The goat flocks were smaller when compared to group 2, and farmers kept their animals in open-air pens. The majority of goat breeders held local breed bucks in the flock for mating.

In this group, goat breeding is a subsistence farming based on the use of local breeds and available natural resources. According to Agossou and al. (2017), the West African region contains a wide range of indigenous goat breeds well adapted to harsh environmental and precarious husbandry conditions, which nevertheless have low genetic potentials.

The second group of farmers, in contrast to the previous group, was more motivated by processing milk into yoghurt and cheese. Goat flocks were larger and kept in goat sheds. The farmers had a higher education level (secondary education) and lived in villages equipped with milk-processing units. This suggests a possible direct impact of education on adoption of innovations or on improved living standards (Tindano et al. 2015).

The third group of farmers was more motivated by meat production. Farmers did not consume or process milk. Goat flocks were small and farmers kept their animals in open-air pens. This might be due to their motivation of keeping goats as cash for income and self-consumption. Farmers in this group were more likely than group 1 to report that their motivation for goat rearing was for the market and self-consumption, which is supported by (Manirakiza et al. (2020). They proposed that goat breeding, in addition to a nutritional role, has a socio-economic dimension through income generation. According to Missohou et al. (2016), goat breeding allowed social promotion through the acquisition of species considered more high status and noble, like sheep and bovine.

2.6 Conclusion

Goat rearing in the Fatick area is an exclusively female activity in a severe environment, and mixed flocks of sheep and goats are common. The processing of milk into various by-products such as yoghurt and cheese other than traditional curdled milk is emerging but highlights the possibilities for innovation in goat rearing in the region.

2.7 Recommendations

The objectives of ARECAF and its development partners, which are the improvement of breeding management, the sale of goat products and the structuring of the goat sector, are highly relevant in the context of the local economy. Nevertheless, the current situation of the sector does not allow these goals to be achieved. Thus, for sustainable prospects, two requirements must be met:

- 1) Increasing productivity by intensifying the use of land, using locally available resources and improving animal performance;
- 2) Adopting techniques that guarantee the three pillars of sustainability: environmental, economic and social.

2.8 Acknowledgments

The authors acknowledge the support of the Senegalese Institute of Agricultural Research (ISRA) and the University of Liège, Belgium. They thank the enumerators and farmers who participated in the data collection.

2.9 References

- Agossou, D. J., Dougba, T.D. and Koluman, N. 2017. “Recent Developments in Goat Farming and Perspectives for a Sustainable Production in Western Africa,” *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*. 2 (4): 2047-2051. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.62>.
- Ahuya, C.O., Ojango, J.M.K., Mosi, R.O., Peacock C.P. and Okeyo, A.M. 2009. “Performance of Toggenburg Dairy Goats in Smallholder Production Systems of the Eastern Highlands of Kenya” *Small Ruminant Research* 83 (1-3): 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.11.012>.
- Alexandre, G. and Mandonnet, N. 2005. “Goat Meat Production in Harsh Environments.” *Small Ruminant Research* 60 (1-2): 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.005>.
- Kane, A.H. 2019. “Analyse Du Rôle de l’assurance Dans La Résilience Des Populations Vulnérables Aux Chocs Climatiques et à l’insécurité Alimentaire: Cas de La Région de Région de Fatick Au Sénégal.” Université Catholique de Louvain. 81p. <https://matheo.uliege.be>.
- ANSD. 2017. “Enquête Démographique et de Santé Continue (EDS-Continue 2017).” Dakar, Sénégal. 644p. www.ansd.sn.
- Camara, Y., Moula, N., Sow, F., Sissokho, M.M. and Antoine-Moussiaux, N. 2018. “Analysing Innovations among Cattle Smallholders to Evaluate the Adequacy of Breeding Programs.” *Animal*, 1-10. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001544>.
- Coly, I., Diome, F., Dacosta, H., Malou, R. and Akpo, L.E. 2011. Typologie des exploitations agropastorales du terroir de la NEMA (Sénégal, West Africa). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5(5):1941.
- De Vries, J. 2008. “Goats for the Poor: Some keys to successful promotion of goat production among the poor.” *Small Ruminant Research* 77 (2–3): 221-224. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.006>.
- Dieye, P.N., Duteurtre, G. and Ly, C. 2000. “Synthèse Bibliographique Sur Les Filières Laitières Au Sénégal.”1. Dakar, Sénégal. 47p. www.repol.sn.
- Diouf, M.B. 2012. “Alimentation des caprins dans la région de Fatick (Sénégal): pratiques, ressources, compléments disponibles et possibilités d’amélioration.” Ecole Inter- Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires (E.I.S.M.V.). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal. N°30: 138p.
- Djakba, A. 2007. “Evaluation des parametres de reproduction chez la chèvre du sahel inséminée artificiellement dans la région de Fatick.” Ecole Inter- Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires (E.I.S.M.V.). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal. N°39: 89p.
- FAO. 2011. “World Livestock 2011-Livestock in Food Security.” Rome. 130p.
- Goetz, V. 2011. “Le projet d'amélioration de la filière caprine de Fatick (PAFC) au Sénégal.” 13p.
- Iñiguez, L. 2011. The challenges of research and development of small ruminant production in dry areas. *Small Ruminant Research* 98(1-3):12-20.
- Kosgey, I.S., Rowlands, G.J., Arendonk, J.A.M. and Baker, R.L. 2008. “Small ruminant Production in smallholder and pastoral/extensive farming systems in Kenya.” *Small Ruminant Research* 77 (1): 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.02.005>.
- Laouadi, M., Tennah, S., Kafidi, N., Antoine-Moussiaux, N. and Moula, N. 2018. “A basic characterization of smallholders' Goat production systems in Laghouat area,

- Algeria.” *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, no. 24: 8p. <https://doi.org/10.1186/s13570-018-0131-7>.
- Manirakiza, J., G Hatungumukama, G., Besbes, B. and Detilleux, J. 2020. “Characteristics of smallholders’ Goat production systems and effect of Boer crossbreeding on body measurements of goats in Burundi.” *Pastoralism: Research, Policy and Practice* 10 (2): 11p. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13570-019-0157-5>.
- Missohou, A., Nahimana, G., Ayssiwede, S.B. and Sembene, M. 2016. “Elevage caprin en Afrique de l'Ouest : Une Synthèse.” *Revue d'élevage et de Médecine Veterinaire Des Pays Tropicaux* 69 (1): 3-18.
- Missohou, A., Diouf, L., Sow, R.S., and Wollny, C. B.A. 2004. “Goat milk production and processing in the NIAYES in Senegal.” *South African Journal of Animal Sciences* 34 (5SUPPL.1): 151-154.
- Peacock, C. 2008. “Dairy Goat Development in East Africa: A Replicable Model for Smallholders?” *Small Ruminant Research* 77 (2–3): 25–238. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.005>.
- Ruiz, F.A., Castel, J.M., Mena, Y., Camúñez, J. and González-Redondo, P. 2008. “Application of the Technico-Economic Analysis for Characterizing, Making Diagnoses and Improving Pastoral Dairy Goat Systems in Andalusia (Spain).” *Small Ruminant Research* 77 (2–3): 208–220. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.007>.
- Sangaré, M. 2009. “Intérêts et limites de l'élevage caprin dans les écosystèmes fragiles et propositions d'amélioration : Cas des systèmes d'élevage sahélien du Mali.” *CIHEAM / DRAP-Norte / FAO* 156 (91): 151-156.
- Sanon, H.O. 2007. “The Importance of some sahelian browse species as feed for Goats.” Swedish University of Agricultural Sciences. 72p.
- Skapetas, B. and Bampidis, V. 2016. “Goat Production in the World : Present Situation and Trends.” *Livestock Research for Rural Development* 28 (11): 7p.
- Sow, F., Niang, K., Camara, Y., Traoré, E.H., Moula, N., Cabaraux, J.F., Missohou, A. and Hornick, J.L. 2020. “Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility and Energy and Nitrogen Uses in Sahelian and Majorera Dairy Goats Fed Hay of *Vigna Unguiculata*.” *Animals* 10: 1–11. <https://doi.org/doi:10.3390/ani10050861>.
- Thioye, N.T. 2015. “La scolarisation des filles à l'ère des réformes éducatives au Sénégal.” Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne. 121p. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01294503>.
- Tindano, K., Moula, N., Traoré, A. and Leroy, P. 2015. “Characteristics and typology of sheep herding systems in the suburban area of Ouagadougou (Burkina Faso).” *Archives Animal Breeding* 58: 415-423. <https://doi.org/10.5194/aab-58-415-2015>.
- Udo, H.M.J., Aklilu, H.A., Phong, L.T., Bosma, R.H., Budisatria, I.G.S., Patil, B.R., Samdup, T. and Bebe, B.O. 2011. “Impact of Intensification of Different Types of Livestock Production in Smallholder Crop-Livestock Systems.” *Livestock Science* 139 (1–2): 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.020>.

Chapitre 3

Identification des pratiques d'élevage caprin liées à l'affouragement et au logement et voies d'amélioration dans la région de Fatick, Bassin arachidier, Sénégal

Article en préparation en vue d'une publication

- 3 *Etude 2 : Identification des pratiques d'élevage caprin liées à l'affouragement et au logement et voies d'amélioration dans la région de Fatick, Bassin arachidier, Sénégal*

Préambule

Les conclusions de l'étude précédente ont suscité des perspectives d'approfondir les investigations sur les pratiques et objectifs d'élevage en fonction du contexte actuel au Sénégal. Ainsi l'étude 2 visait à mener des réflexions avec les acteurs, afin de placer l'individu au centre de décision des stratégies à adopter pour améliorer le secteur. La méthodologie proposée tient compte des pratiques prometteuses associées aux objectifs de l'élevage, ainsi que les raisons et limites de leur utilisation. Ce chapitre est présenté sous forme d'article à soumettre.

Identification des pratiques d'élevage caprin liées à l'affouragement et au logement et voies d'amélioration dans la région de Fatick, Bassin arachidier, Sénégal

Fafa Sow^{1,2*}, Mouhamadou Mountaga Diallo⁵, Younouss Camara², El Hadji Traoré², Ayao Missohou⁴, Nassim Moula³, Jean-Luc Hornick^{1,3}, Jean-François Cabaraux³

¹University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management and Nutrition Unit, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;

²Senegalese Institute for Agricultural Research (ISRA), Bel Air, Routes des Hydrocarbures, BP 3120 Dakar, Senegal;

³University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management, FARA Center, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;

⁴Office of Zootechnie-Feeding, Inter-State School of Veterinary Science and Medicine (EISMV), BP 577 Dakar, Senegal;

⁵ Programme de Développement Intégré de Fatick (PDIF/ANPDI), Fatick Extension 2 villa n°965, à côté Sapeurs-Pompiers, Tel/Fax : (+221) 339491447, E-mail : pdf@geradsn.org

* Auteur Correspondant: sowvet2002@yahoo.fr

3.1 Résumé

Les populations rurales sont depositaires d'un savoir acquis de façon empirique. Dès lors, il apparaît important de cerner leur comportement et attitude par rapport aux ressources locales. La méthodologie proposée tient compte de ces pratiques, des raisons et limites de leur utilisation et des objectifs de l'élevage. Le programme d'amélioration de la filière caprine, à travers ses acteurs de l'association régionale des éleveurs caprins au Sénégal a été utilisé comme étude de cas. Des enquêtes ont été menées auprès de quatre-vingt (80) éleveurs (19% d'hommes et de 81% de femmes), dans les villages de Mbamane, Ngoyer, Saap, Keur Fafa et Colobane. L'analyse des composantes principales a mis en évidence trois catégories d'éleveurs en fonction des pratiques et objectifs associés : « Innovateurs-lait », « Innovateurs-intermédiaire » et « Tradition ». Les deux premiers groupes étaient les plus représentés (32,5 et 40%, respectivement). Le premier utilise les pâturages naturels, les résidus agricoles, les ligneux naturels et les chèvreries ($P < 0,001$). Ses membres donnent une importance particulière à ces pratiques pour atteindre leurs objectifs de production de lait. Le deuxième groupe privilégie les cultures fourragères et ligneuses ($P < 0,05$) et les chèvreries ($P < 0,05$) qu'il associe à un objectif de production de fumure organique. Le troisième groupe préfère les logements traditionnels associés à un élevage basé sur la vente d'animaux et la consommation de la viande. En conclusion, nous pouvons noter que la méthode utilisée a fait mieux apparaître la variabilité au sein des villages et entre eux, selon les perspectives des objectifs d'élevages ($p < 0.05$). Toutefois, les pratiques comme le logement en chèvrerie et l'alimentation à base de cultures fourragères, se rejoignent et synthétisent une volonté des éleveurs de « stabiliser » leurs chèvres à l'année, dans une chèvrerie proche de la maison.

Les raisons principales sont la protection des chèvres, d'abord contre les intempéries et en particulier les précipitations importantes lors de la saison des pluies, qui favorisent le développement de maladies et la mortalité en particulier chez les jeunes.

Mots clés: Caprins-Pratiques- affouragements-logements-Lait-viande-Innovations.

3.2 Abstract

Rural people are the repositories of empirically acquired knowledge. Therefore, it is important to identify their behaviour and attitude towards local resources. The proposed methodology takes into account these practices, the reasons and limits of their use and the objectives of livestock farming. The goat sector improvement program, through its actors “the regional association of goat breeders in Senegal” was used as a case study. Surveys were carried out among four (4) goat breeders (19% male and 81% female) in the villages of Mbamane, Ngoyer, Saap, Keur Fafa and Colobane. The main component analysis revealed three categories of herders according to their practices and associated objectives: “Innovators-milk”, “Innovators-intermediary” and “Tradition”. The two first groups accounted for the most (32.5 and 40%, respectively). The first group uses natural pastures, agricultural residues, natural woody materials and goat herds ($P < 0.001$). Their members give particular importance to these practices to achieve their milk production targets. The second group favours fodder and woody crops ($P < 0.05$) and goat herds ($P < 0.05$) associated with an organic manure production objective. The third group prefers traditional housing associated with a breeding based on the sale of animals and the consumption of meat.

In conclusion, we can note that proportional piling better revealed the variability within and between villages, depending on the perspectives of the livestock objectives. However, practices such as housing in the goat house and feeding based on fodder crops are similar and synthesize a desire of the herders to “stabilize” their goats year-round, in goat housing close to household facilities. The main reasons are the protection of the goats. Firstly, against bad weather and in particular heavy rainfall during the rainy season, which favors the development of diseases and mortality, especially among young goats.

Key words: Goats - Practices - Feeding - Housing - Milk - Meat - Innovations.

3.3 Introduction

Dans les pays du Sud, l'élevage est soumis au défi de l'augmentation de la demande en produits animaux, qui devrait doubler à l'horizon 2050 (FAO 2011). Parallèlement, face aux changements globaux en cours (climat, démographie, pression sur les ressources et urbanisation), la question de la vulnérabilité des populations qui vivent de l'élevage se pose comme une priorité. Au Sénégal, dans le domaine de la production agricole, l'élevage constitue un secteur stratégique de l'économie nationale, occupant ainsi près de 60% des ménages agricoles. Il représente 4,6% du Produit Intérieur Brut (PIB) et contribue à près de 0,2% à sa croissance qui s'établissait à 4,3% en

2014 (ANSD 2019). La chèvre fait de plus en plus l'objet d'une attention particulière au niveau des programmes menés aussi bien par les pouvoirs publics que par la recherche scientifique.

Au Sénégal, l'un des principaux freins au développement de l'élevage caprin est l'alimentation en saison sèche, mise en péril par la dégradation du milieu associée à une pression de croissance de l'agriculture (Floret and Pontanier 2001; Diouf 2012). Des mutations du contexte agricole ont progressivement entraîné une marginalisation de l'élevage qui doit trouver de nouvelles stratégies d'adaptation pour être productif, passant notamment par l'installation de banques fourragères de proximité et la spécialisation des spéculations (viande, lait, force de travail etc.). L'introduction d'espèces ligneuses et herbacées susceptibles de produire des quantités importantes de fourrage de qualité et de résister à des coupes fréquentes constituerait une solution durable et cohérente pour assurer une production laitière, particulièrement sensible aux restrictions alimentaires.

Sous l'initiative du Projet d'Amélioration de la Filière Caprine (PAFC) développé en 2006 dans la région de Fatick, l'élevage caprin est, depuis 2010, en partie organisé en Association Régionale des Eleveurs Caprins (ARECAP) comptant 43 groupements villageois d'éleveurs caprins et 11 chèvreries familiales (Goetz 2011). Des chèvreries sont construites grâce à l'aide d'ONG et de projets (PAFA extension, PDIF, PAFC...) mais elles ne sont pas adaptées aux normes minimales standard. Ainsi, par exemple, il n'y a pas de séparation entre mâles et femelles, ce qui pose problème pour la gestion des saillies, le développement des femelles, ainsi que pour la sélection génétique.

Afin de contribuer à la réduction de la pauvreté des populations rurales par l'amélioration de la productivité des élevages caprins dans la zone d'investigation, notre étude vise à comprendre la perception des éleveurs de l'ARECAP sur les pratiques souhaitées pour un élevage durable.

Il s'agira d'établir (1) un état des lieux des ressources fourragères et des pratiques d'utilisation des fourrages et de logements des chèvres, (2) une analyse des contraintes et des difficultés liées à la gestion des fourrages.

3.4 Matériel et Méthodes

3.4.1 Approche globale

La méthode proposée consiste à analyser les interrelations entre les pratiques et les objectifs des éleveurs identifiés et classés par le biais d'approches participatives (Y. Camara et al. 2018). Ensuite, grâce à une analyse multivariée classique, la typologie des pratiques est identifiée pour caractériser le lien entre les types de pratiques identifiés et les différentes voies d'amélioration de l'élevage caprin dans la région de Fatick.

3.4.2 Zone d'étude

L'étude a été menée dans cinq villages de la région de Fatick, au centre du Sénégal (14°21.4836' N, 16°35.1498'O): Mbamane, Ngoyer, Saap, Keur Fafa et Colobane. La végétation de cette région est modifiée en raison de l'action anthropique et de la sécheresse. La pluviométrie varie entre 600 mm et 700mm réparties sur 5 mois, de juin à octobre. Les températures moyennes annuelles minimales varient entre 21°C et 24°C de décembre à fin février alors que les températures maximales varient entre 35°C et 42°C de mars à juin (ANSD 2019). Les activités économiques prédominantes sont l'agriculture et l'élevage. Le principal système d'élevage est de type agro-pastoral, pratiquant l'intégration culture-élevage. Le fumier des animaux est utilisé pour l'amendement des sols et l'énergie animale est utilisée pour le labour. Selon ANSD (2017), la population de la région était estimée en 2013 à 714 389 habitants, soit 5,3% de la population nationale, avec un effectif de petits ruminants de plus de 755000 têtes.

3.4.3 Echantillonnage

Les éleveurs interrogés au nombre de 80, ont été sélectionnés d'après leur disponibilité, et leur réponse favorable à l'invitation. Ils appartenaient tous aux groupements membres de l'ARECAP. Ces derniers ont été regroupés autour des villages Mbamane, Ngoyer, Saap, Keur Fafa et Colobane de la région de Fatick.

3.4.4 La collecte de données

Un groupe de discussion (focus group) a d'abord été organisé, un par village. Au total quatre-vingt éleveurs, ont participé dans la période du 04 au 10 décembre 2019. La composition des focus group est indiquée dans le tableau 1.

L'approche participative « Hypothetical choice experiment » (Manirakiza et al. 2020) utilisée lors des focus group comportait deux parties. Dans une première partie, les éleveurs ont été invités à identifier et lister les pratiques qu'ils avaient développées par eux-mêmes, ainsi qu'à décrire les raisons et les contraintes de leur utilisation.

La deuxième partie a porté sur les objectifs d'élevage et les voies d'amélioration pour les atteindre. A chaque fois, avant de commencer il a été demandé aux éleveurs de se mettre d'accord sur les objectifs majeurs et les pratiques qui, selon eux, devraient avoir le plus d'impact dans leur village. Ainsi six pratiques, dont trois en affouragements et trois en logements, et quatre objectifs ont été retenus. Les six pratiques et les quatre objectifs convenus dans chaque groupe de discussion ont ensuite été classés par empilage proportionnel (avec 100 pierres). Chaque éleveur du groupe a ainsi classé les pratiques et les objectifs en fonction de leur importance relative en termes d'amélioration de manière durable de son élevage.

Tableau 4.1. Liste des principales pratiques et objectifs des éleveurs de chèvres par focus groupe et par villages

<i>Villages</i>	<i>Nombres d'éleveurs par Focus group</i>			<i>Pratiques d'affouragement</i>	<i>Pratiques de logements</i>	<i>Objectifs d'élevage caprins</i>
	<i>Femmes</i>	<i>Hommes</i>				
Colobane	15	15	0	PN	Enclos	Revenus
				RAL	Abris	Viande
				CFL	Chèvrerie	Lait Fumure
Keur Fafa	14	4	10	PN	Enclos	Revenus
				RAL	Abris	Viande
				CFL	Chèvrerie	Lait Fumure
Mbamane	16	16	0	PN	Enclos	Revenus
				RAL	Abris	Viande
				CFL	Chèvrerie	Lait Fumure
Ngoyere	16	15	1	PN	Enclos	Revenus
				RAL	Abris	Viande
				CFL	Chèvrerie	Lait Fumure
Saap	19	15	4	PN	Enclos	Revenus
				RAL	Abris	Viande
				CFL	Chèvrerie	Lait Fumure

Pâturage Naturel (PN) ; Résidus Agricoles et Ligneux naturels (RAL) ; Cultures fourragères et Ligneuses (CFL).

Le tableau 4.2 décrit chaque type de pratiques (affouragements ou logements) et d'objectifs listés par les éleveurs.

Tableau 4.2. Typologie des différentes pratiques d'affouragements, de logements et des objectifs d'étude de l'étude

	<i>Pâturage Naturel (PN)</i>	<i>Résidus Agricoles et Ligneux naturels (RNL)</i>	<i>Cultures fourragères et Ligneuses (CFL)</i>
--	------------------------------	--	--

<i>Affouragement</i>	Les chèvres sont en divagation autour des maisons ou en pâturage par un berger ou attaché	Fanés et résidus d'arachide ou de niébé, restes de cuisines, son de mil et tourteaux d'arachide locaux et élagage d'arbres et ramassage de gousses de ligneux naturels	Cultures de niébé fourrager et d'arbustes fourragers pour la constitution de réserves fourragères	
<i>Logement</i>	<i>Enclos à ciel ouvert</i>	<i>Abris traditionnel</i>	<i>Chèvrerie</i>	
	Lieu de parcage des chèvres pendant la nuit, attachées ou en liberté	Utilisation d'une ancienne case en ruine ou protection temporaire contre les intempéries, surtout pendant la saison des pluies	Bâtiment construit pour abriter les chèvres et les protéger contre les menaces venant de l'extérieur, parfois aménagé avec des mangeoires et séparation de catégories	
<i>Objectifs d'élevage</i>	<i>Lait</i>	<i>Fumure organique</i>	<i>Viande</i>	<i>Revenus</i>
	Production laitière pour l'autoconsommation, la vente aux unités de transformation ou transformer directement en yaourt, fromages et savons	Enrichir les parcelles de cultures et de production fourragère et/ou maraîchère	Production pour autoconsommation de la famille, abattage lors des événements socioculturels et religieux (visites, mariages, baptêmes, korité ou tabaski...)	Vente d'animal sur pied pour les besoins quotidiens du ménage (achat de médicaments, scolarisation des enfants, achat de vivres en période de soudure ou intrants agricoles...)

3.4.5 Traitement des données

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec R (version 3.3.1).

Les taux de citation des pratiques et des objectifs d'élevage ont été représentés par des histogrammes. Les données de l'empilement proportionnel ont fait l'objet de statistiques descriptives (médiane, moyenne, minimum et maximum) et ont été soumises à une analyse en composantes principales (ACP). Les pratiques (Pâturage Naturel (PN) ; Résidus Agricoles et Ligneux naturels (RAL) ; Cultures fourragères et Ligneuses (CFL) ; Enclos ; Abris et Chèvrerie) ont été incluses en tant que variables actives, contribuant ainsi à la construction des composantes principales. Les objectifs (Fumure ; Revenus ; Viande et Lait) ont été inclus comme variables illustratives, donc projetés sur les axes de l'ACP en fonction des innovations auxquelles ils sont corrélés. Une analyse de classification hiérarchique (package FactoMineR, fonction HCPC) a ensuite été utilisée pour catégoriser les éleveurs et établir une typologie basée sur les trois premières composantes principales. Ainsi, l'ACP et le HCPC visaient à étudier les relations entre un ensemble de quatre objectifs et six pratiques d'élevage. Les données manquantes ont été traitées par imputation au moyen d'une ACP itérative dans le cadre de l'ensemble de données MissMDA (Josse and François 2016; Leroy et al. 2017).

Des tests de Chi carré ou Exact de Fisher ont été effectués pour évaluer la dépendance entre les groupes ainsi définis et les variables catégorielles ainsi qu'entre les variables catégorielles.

3.5 Résultats

Parmi les quatre-vingt (80) éleveurs, 19% d'hommes et de 81% de femmes ont été interrogés. L'inventaire des différentes pratiques par les éleveurs fait ressortir trois types d'affouragements (PN= Pâturage Naturel ; RAL= Résidus agricoles et Ligneux naturels; CFL= Cultures fourragères et Ligneuses) et trois types de logements (Enclos à ciel ouvert ; Abris traditionnel ; Chèvrerie).

3.5.1 Les principales raisons et contraintes de l'utilisation des différentes pratiques identifiées

Les justifications et contraintes rencontrées pour chaque type de pratiques en affouragements et en logements identifiés par les éleveurs en focus groupe, sont résumées dans les figures 1 et 2.

Pour les types de logements pratiqués, les résultats sur les raisons d'utilisation des pratiques révèlent que les faibles moyens des éleveurs constituaient les principales raisons de l'utilisation des enclos à ciel ouvert (cité par tous les focus groupes). Quant aux chèvreries, elles permettaient une diminution des maladies des chèvres, du vol de bétail et des prédatons. Elles facilitaient la production du fumier organique et leurs conditions d'élevage étaient améliorées.

Les abris traditionnels étaient utilisés uniquement pour protéger les chèvres contre des pluies de façon temporaire.

Relativement aux types d'affouragements pratiqués, les éleveurs utilisaient les résidus agricoles et ligneux naturels parce qu'ils constataient une meilleure santé des chèvres, mais également une amélioration des performances de croissance et de production de lait, avec une certaine docilité des animaux. Le recours aux pâturages naturels était surtout lié aux pratiques traditionnelles, mais aussi au manque de réserves fourragères et aux faibles moyens des éleveurs. Certains d'entre eux ont cité le comportement résilient de la chèvre, mais aussi l'interdiction de l'élagage des arbres de la brousse favorise cette pratique. L'élevage caprin considéré comme élevage de subsistance et/ou l'existence d'un berger communautaire dans le village étaient d'autres raisons.

La qualité des fourrages, la facilité de la stabulation et l'amélioration de la productivité des chèvres étaient les principales raisons d'utilisation des cultures fourragères et ligneuses.

Face à des différentes raisons citées dans les différents focus group, des contraintes pour chaque type de pratiques en affouragements et en logements ont été identifiées par les éleveurs.

Pour les types de logements pratiqués, les maladies, la mortalité des jeunes, le parasitisme, les effets négatifs des intempéries, de même que l'insalubrité, constituaient les principales contraintes que rencontrent les chèvres parquées dans des enclos à ciel ouvert. Pour la chèvrerie, les principales limites concernaient son coût, la nécessité d'une main d'œuvre et le manque de formation pour sa gestion. Quant aux abris, les éleveurs ont tous cités comme contrainte, qu'ils étaient moins durables comparativement aux chèvreries.

Pour les types d'affouragements pratiqués, les résidus agricoles et ligneux naturels sont surtout limitants par leur quantité disponible insuffisante, les sanctions délivrées par les autorités forestières contre l'élagage des arbres, la priorité des animaux de traits à ces résidus, mais également le prix de sous-produits agroindustriels dans le marché. Concernant les pâturages naturels, les éleveurs ont cité le vol de bétail, les maladies, la prédation, les accidents, la faiblesse des jeunes animaux, l'exploitation du lait au profit du berger, mais aussi les conflits récurrents entre agriculteurs et éleveurs. Le coût élevé et la pénibilité des cultures fourragères et ligneuses, associé au manque d'eau et de formation, de même l'accès difficile aux intrants et au foncier freinent leur développement.

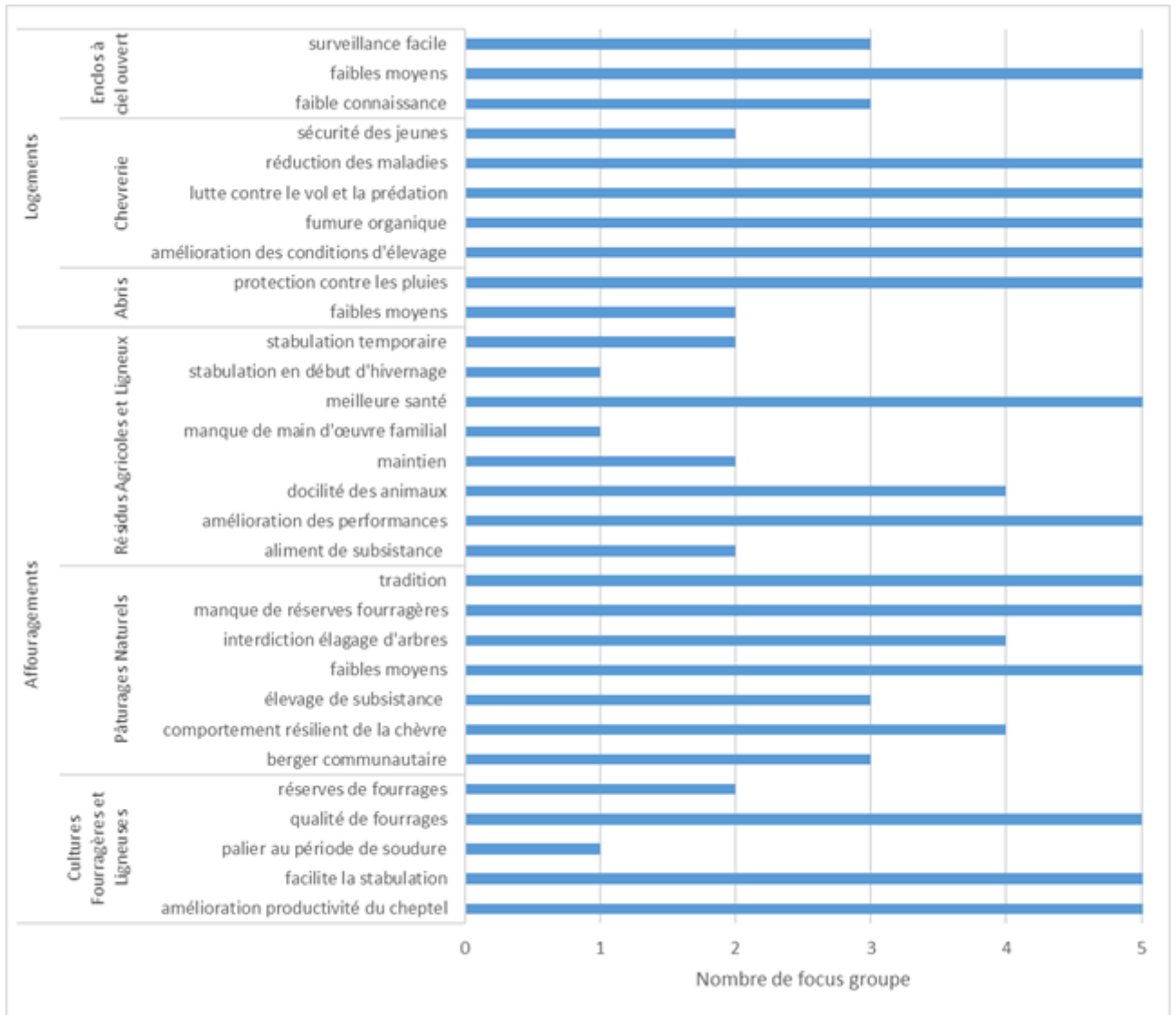


Figure 4.1. Principales raisons de recours aux pratiques citées dans les cinq groupes de discussion des éleveurs de chèvres

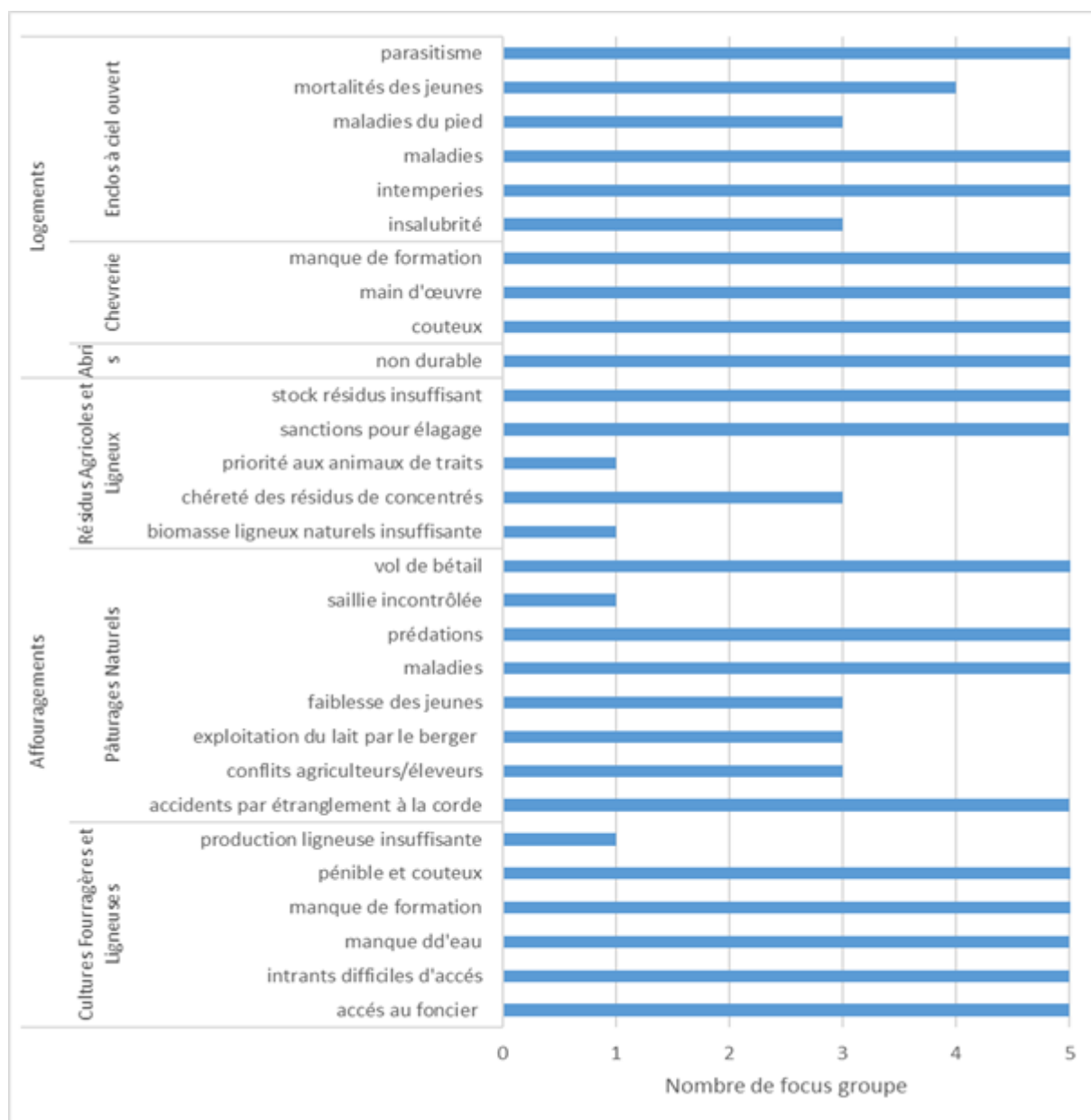


Figure 4.2. Principales contraintes des pratiques citées dans les cinq groupes de discussion des éleveurs de chèvres

3.5.2 Les pratiques d'affouragements et de logements en élevage caprin

Le tableau 3 résume l'importance relative attribuée aux pratiques, telle que déterminée par l'empilement proportionnel lors des focus groupes. La chevrie a atteint le score moyen le plus élevé (96,2 % sur la base de 64 notations), suivis par les abris traditionnels (48,2 % sur la base de 34 notations), les deux étant ainsi perçus comme des pratiques de logements clés pour améliorer leurs conditions d'élevage. Pour les pratiques d'affouragements, les cultures fourragères et ligneuses ont atteint le score le plus élevé, suivi des résidus agricoles et ligneux naturels (respectivement 71,4 % sur la base de 74 notations et 33,3 % sur la base de 71 notations). Ceci semble montrer une certaine prise de conscience de la part des acteurs en terme de perception sur l'avenir de leur secteur. Bien que la

région du centre soit caractérisée par un climat soudano-sahélien (avec près de 9 mois de sécheresse dans l'année), on y rencontre surtout en saison pluvieuse une flore naturelle constituée de graminées et de légumineuses herbacées et de pâturages ligneux. Cette zone de par sa vocation agricole, possède un fort potentiel de résidus de cultures agricoles dont les pailles de céréales, les fanes de légumineuses et de sous-produits agro-industriels (Diouf, 2012). Cependant ce potentiel de ressources devient plus en plus introuvable à cause de la réduction des parcours naturels, due à l'urbanisation rapide et à l'augmentation des surfaces agricoles, ainsi qu'aux fortes variations pluviométriques dictées par les conditions climatiques. Ce qui a influencé certains éleveurs/ses à intégrer d'autres pratiques d'affouragements, notamment celles avec les meilleurs scores de notation. Plusieurs raisons ont été avancées lors des travaux de focus group, à savoir : le stock de réserve de fourrage de qualité, facilité la stabulation des chèvres en début des travaux agricoles et surtout l'augmentation des productions de lait et viande à travers une bonne santé.

Quatre objectifs d'élevage (revenus, viande, lait, fumier) ont été jugés importants dans les groupes de discussion (tableau 1), puis quantifiés individuellement par les éleveurs (tableau 3). Les focus groupes ont confirmé la multifonctionnalité de l'élevage caprin, les revenus se classant en tête des objectifs, avec un score relatif moyen de 39,3 %, suivi de la production laitière comme le deuxième objectif d'élevage, avec un score relatif moyen de 35,9 %, la production de fumure organique, avec un score moyen de 29,1% et enfin la production de viande pour un score de 21,9%.

Tableau 4.3. Importance relative des principales pratiques et objectifs d'élevage selon les éleveurs de chèvres (résultats de l'empilage proportionnel en %)

	No	Médiane (%)	Min (%)	Max (%)	Moyenne (%)
Pratiques					
PN	39	6	1	72	9.3
RAL	71	18	2	100	33.3
CFL	74	80.5	6	100	71.4
Enclos	17	12	1	28	11.9
Abris	34	9.5	1	100	48.2
Chèvrerie	64	100	72	100	96.2
Objectifs d'élevage					
Revenus	70	32	4	100	39.3
Viande	60	18.5	2	66	21.9
Lait	58	35	4	81	35.9
Fumure	57	27	6	100	29.1

No = Nombre d'éleveurs; Min.=minimum; Max.= maximum; Pâturage Naturel (PN) ; Résidus Agricoles et Ligneux naturels (RAL) ; Cultures fourragères et Ligneuses (CFL)

3.5.3 Relation entre les pratiques et les objectifs d'élevage

L'ACP des scores relatifs de six pratiques en élevage caprin a conduit à retenir les deux premières composantes, qui représentent 89,3 % de l'écart total. La figure 3 représente le cercle des corrélations entre les pratiques, les objectifs et les principaux axes.

L'axe 1 (66,09 % de la variance totale) présente une corrélation significative avec toutes les pratiques et les objectifs d'élevage ($P < 0,001$), à l'exception des objectifs de production de viande ($P = 0,047$). Les corrélations positives les plus élevées ont été constatées avec les enclos (0,86), les cultures fourragères et ligneuses (0,82) et les abris (0,75). Les corrélations étaient négatives avec l'usage de chèvrerie et les résidus agricoles et ligneux naturels (-0,86), mais également avec les pâturages naturels (0,69).

L'axe 2 (23,23 % de la variance totale) présente une corrélation significative avec toutes les innovations et les objectifs étudiés ($P < 0,05$). Une corrélation forte et positive apparaît avec l'objectif de la production laitière (0,60), les pâturages naturels et les abris (0,58).

Ainsi, le premier axe apparaît comme opposant les pratiques de cultures fourragères et ligneuses, les abris et enclos avec comme objectifs d'élevage les revenus et la viande aux pratiques de pâturages naturels, de résidus agricoles et ligneux naturels et de chèvrerie avec des objectifs de production de fumure organique.

Le second axe oppose les pratiques de pâturages naturels, de résidus agricoles et ligneux naturels, des abris et enclos pour la production de lait (système traditionnel) au système innovant (cultures fourragères et ligneuses et chèvrerie), avec comme objectif la production de fumier.

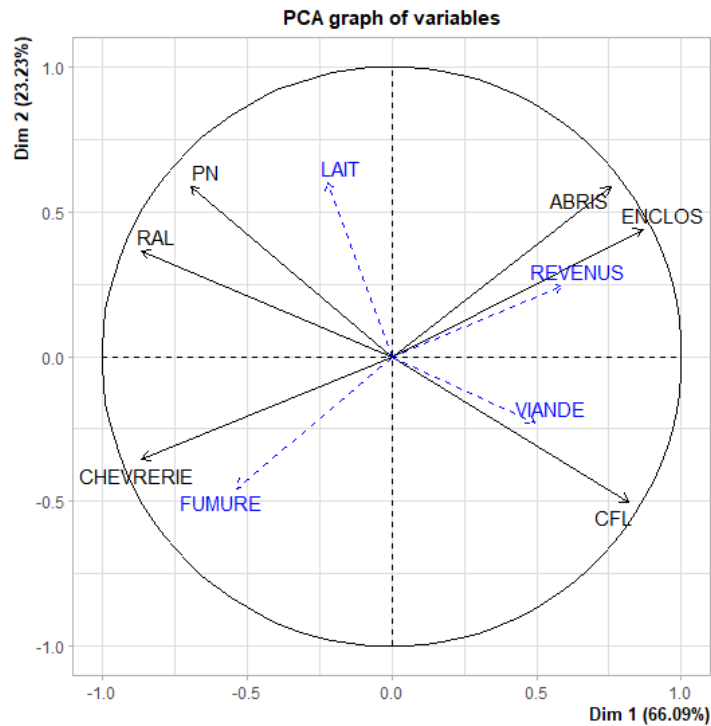


Figure 4.4. Cercle des corrélations entre les pratiques (en noir), les objectifs (en bleu) et les principaux axes (1 et 2). Pâturage Naturel (PN) ; Résidus Agricoles et Ligneux naturels (RAL) ; Cultures fourragères et Ligneuses (CFL).

3.5.4 Classification hiérarchique et description des groupes

La classification hiérarchique révèle trois types groupes (figure 5). Pour toutes les pratiques, l'importance relative attribuée s'est avérée statistiquement différente entre ces trois types de sélectionneurs (test exact de Fisher, $P < 0,05$).

Le groupe 1, constitué de 26 éleveurs (32,5% des participants), a été qualifié de groupe Innovateurs-lait. Ce groupe est bien décrit par les modalités à coefficients négatifs sur l'axe 1. Ces éleveurs se trouvaient dans trois des villages : 65% à Saap, 31% à Ngoyère et 4% à Colobane. Dans ce groupe, un lien statistique très significatif a été observé avec les pratiques suivantes : pâturages naturels, de résidus agricoles et ligneux naturels et chèvreries ($P < 0,001$). Ils donnent une importance particulière à ces pratiques pour atteindre leurs objectifs de production de lait.

Le groupe 2, constitué de 32 éleveurs (40%), a été qualifié de groupe « Innovateur-intermédiaire ». Ces éleveurs provenaient de Keur Fafa (40,6%), Colobane (28,1%), Ngoyère (25%) et Saap (6,3%). Le lien statistique avec ce groupe a été très significatif pour les pratiques suivantes: cultures fourragères et ligneuses ($P < 0,05$), chèvreries ($P < 0,05$). Ces pratiques présentent plus d'importance pour ces éleveurs. Ils présentent donc des valeurs négatives sur l'axe 2, indiquant des objectifs de production de fumier.

Le groupe 3, constitué de 22 éleveurs (27,5%), représentait le groupe « Tradition ». Ce groupe comptait principalement des éleveurs originaires des villages de Mbamane (73%), Colobane (23%), et de Keur Fafa (4%). Le lien statistique a été très significatif pour les pratiques suivantes: abris, enclos et cultures fourragères et ligneuses ($P < 0,001$). Ces éleveurs font l'élevage de chèvres pour obtenir des revenus et la consommation de viande.

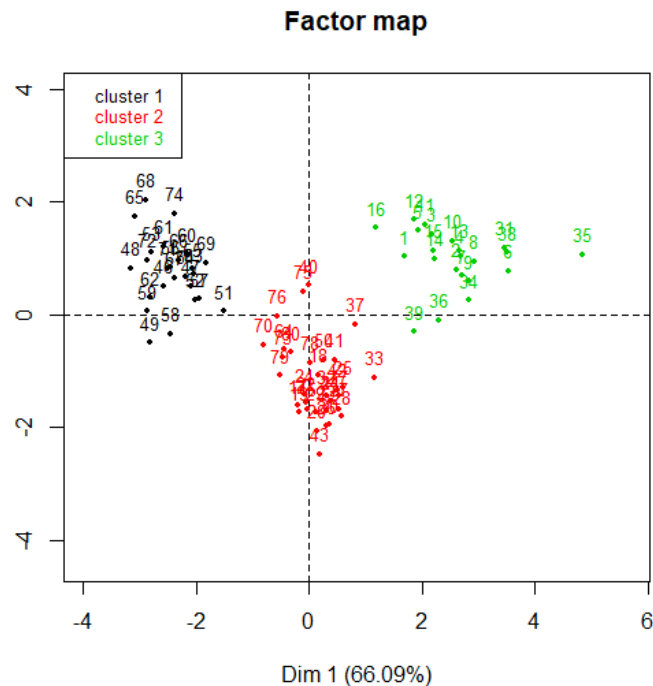


Figure 4.5. Représentation graphique des trois catégories d'éleveurs de chèvres sur les axes 1 et 2 de la classification hiérarchique sur l'analyse en composantes principales des pratiques et les scores relatifs des objectifs (les numéros correspondent aux identifiants des éleveurs).

3.6 Discussion

3.6.1 Contribution méthodologique à l'identification des pratiques et objectifs d'élevage caprins dans la zone d'étude

L'analyse des pratiques proposées, leurs raisons d'utilisation et leurs contraintes, aide à comprendre la place de l'élevage caprin dans la région de Fatick. La méthode se concentre sur les processus sociaux qui favorisent, accompagnent, entravent ou sont provoqués par ces pratiques et objectifs d'élevage. L'absence de comptabilité sur les différents achats et investissement constitue une limite pour évaluer l'impact économique de ces pratiques dans la présente étude. Il convient donc d'étudier en profondeur la stratégie économique du ménage dans l'élevage caprin.

3.6.2 Pratiques et objectifs

L'importance accordée aux pratiques de cultures fourragères et ligneuses et la valorisation des résidus agricoles associées à la chèvrerie (71,4 ; 33,3 et 96,2%, respectivement), dans les groupes de discussion, reflète la volonté des éleveurs à améliorer de manière pérenne les performances (augmentation du troupeau et croissance rapide des animaux) de leur élevage. En effet, la plupart des innovations (cultures fourragères et ligneuses, chèvrerie) se sont avérées exogènes. Le taux élevé de citation d'innovations telles que cultures fourragères et ligneuses, et chèvrerie s'explique dans les groupes de discussion par le fort soutien des partenaires (ONG, projet ou Etat). Ces actions sont très répandues dans les pays en développement, comme par exemple en Éthiopie (Roschinsky et al. 2015) et au Burundi (Manirakiza et al. 2020), ce qui explique d'avantage l'influence effective des politiques d'incitation sur les pratiques de production animale.

Toutefois, les influences externes ne suffisent pas à expliquer l'innovation. Les innovations exogènes impliquent, en effet, des adaptations locales qui constituent une innovation endogène réactive mais ne sont pas identifiées comme telles par les éleveurs. Souvent, les innovations introduites sont simplifiées par les éleveurs quelle que soit leur origine, pour les adapter à leurs pratiques, leur budget et leur environnement (Vall, Blanchard, et al. 2012). Inversement, les innovations endogènes ont souvent été la matrice d'intervention des ONG visant à les améliorer et à les diffuser. Ces innovations peuvent alors apparaître comme exogènes pour certains agriculteurs qui ont pu les apprendre des ONG (Camara et al. 2018). Par conséquent, si le poids de l'innovation exogène est effectivement une indication de l'influence de l'État ou des ONG, les éleveurs restent toujours au centre du processus d'innovation et ne doivent jamais être considérés comme les bénéficiaires passifs du progrès externe (Klerkx, Aarts, and Leeuwis 2010).

L'empilement proportionnel a fait mieux apparaître la variabilité au sein des villages et entre eux, selon les perspectives des objectifs d'élevages. Les villages de Saap (65%), Ngoyère (31%) et Colobane (4%) ont privilégié la production laitière. Dans ces villages, la production laitière était soutenue par la présence du marché des cantines scolaires porté par un projet du CFS (Comité Français pour la Solidarité Internationale) ou par l'installation d'une unité de transformation autonome. Ces éleveurs constituaient le groupe « Innovateurs-lait » de la typologie. L'utilisation de l'alimentation à base de résidus agricoles et ligneux, des cultures fourragères et la construction d'étables étaient jugées plus importantes par ces éleveurs. Contrairement aux villages du groupe à objectifs lait, le village de leur Fafa (40,6%) privilégiait plutôt la production du fumier, avec une importance sur la construction d'étables et les cultures fourragères. Ces éleveurs n'étaient pas encore bénéficiaires des actions d'incitation à la production laitière, ce qui pourrait expliquer la faible proportion des éleveurs et éleveuses avec un objectif de production laitière. A mbamane, les éleveuses ne pratiquaient presque pas la traite, par tradition. Elles privilégiaient les revenus et la consommation de la viande à la place de la production et de la transformation laitière. Une plus grande importance était donnée aux pratiques

traditionnelles d'affouragements et de logements. Cependant, grâce aux projets de parcelles maraîchers associant des arbustes fourragers comme haies vives et brise-vent, dont leur groupement a eu à bénéficier, une importance relative d'intégration des productions fourragères et ligneuses à l'alimentation des chèvres en période de soudure, a été notée dans les discussions de groupe.

Les résultats de cette étude révèlent en outre que l'insuffisance des connaissances en matière de traitement et de conservation des résidus de récolte, d'itinéraire de production fourragère, ainsi que de construction d'étables constituaient les limites majeures de l'élevage caprin dans la zone d'étude. Parmi les autres limites, figuraient la difficulté du transport (encombrement), la variabilité saisonnière, l'obtention de main-d'œuvre et les difficultés de stockage. Des résultats similaires ont été rapportés par (Chalchissa 2018) qui ont cité le manque de connaissances des éleveurs et de capital, (Kassa et al. 2016) le coût élevé de la main-d'œuvre, (Mapiye, Mwale, and Mupeta 2006) la faible valeur nutritive des fourrages et la difficulté dans le transport des résidus de culture qui sont volumineux (Karangiya and Savsani 2016).

Nos résultats montrent une volonté des éleveurs de se tourner davantage vers une alimentation à base de cultures fourragères et un logement en chèvrerie, afin d'augmenter les rendements de production. Ils sont cohérents avec les résultats d'études précédentes (A. Camara, Dieng, and G. Mergeai 2018).

Les arguments pour ces deux pratiques, le logement en chèvrerie et l'alimentation à base de cultures fourragères, se rejoignent et synthétisent une volonté des éleveurs de consolider la présence des chèvres durant l'année, dans une chèvrerie proche de la maison. Les raisons principales sont la protection des chèvres. D'abord contre les intempéries et en particulier les précipitations importantes lors de la saison des pluies, qui favorisent le développement de maladies et la mortalité en particulier chez les jeunes. La stabulation partielle ou permanente est aussi associée à une meilleure sécurité, limitant les vols de bétail, fréquents et la prédation par les chiens errants. Il est à noter également que l'identification des animaux par le PAFC, souvent mentionné dans les impacts de l'appui, limite le vol du bétail et est très apprécié par les éleveurs et éleveuses (Goetz 2011).

La chèvrerie est aussi, selon les éleveurs, un gage d'une meilleure hygiène des animaux, facilite l'alimentation des chèvres, la traite et le contrôle de la reproduction. Cependant, les éleveurs ont rapporté souvent un manque de moyens pour construire un tel bâtiment.

Ces innovations techniques ont été portées par des projets de développement de l'élevage caprin par des agents extérieurs aux villages qui ont également introduit l'objectif de production laitière, auparavant inexistant car l'élevage de chèvre était uniquement destiné à la vente, au prestige associé à la possession de bétail ou au sacrifice lors de cérémonies. La volonté propre des éleveurs d'adhérer à ces projets et d'acquiescer ces innovations semble alors être le marqueur de la réussite des

sensibilisations et formations sur le terrain, menées depuis plusieurs années par des projets tels que le PDIF et le PAFC.

Cependant, devant une telle convergence des avis, alors même que dans cette population d'éleveurs une bonne partie d'entre eux ne voyait pas l'intérêt de l'élevage de chèvres avant l'intervention du PDIF, on peut se demander si les opinions récoltées sont objectives, ou si elles résultent en partie de l'impact des décisions de groupes au niveau du village. De plus, de nombreux arguments parmi ceux évoqués pour justifier la construction d'une chèvrerie étaient directement issus des formations reçues par ces éleveuses. L'engouement pour ces innovations pourrait alors simplement provenir d'une solution proposée pour augmenter les revenus auprès d'une population vulnérable en quête d'une amélioration de ses conditions de vie.

3.7 Conclusion

Afin de répondre à la question de parvenir à obtenir des élevages caprins plus résilients dans la zone du projet, les éleveurs, à l'issue de l'exercice sur l'empilement proportionnelle, ont pu proposer un ensemble de pratiques en affouragement et en logements. Ces pratiques qu'ils pensent prometteuses et durables doivent être accompagnés d'une solide collaboration entre les partenaires techniques, politiques et scientifiques. Les voies d'améliorations proposées par éleveurs vont surtout dans le sens d'une opérationnalisation des innovations en affouragement (parcelles fourragères) et en logements (chèvreries) entamées avec l'encadrement des différents partenaires.

3.8 Remerciements

Les auteurs remercient l'Institut sénégalais de recherche agricole (ISRA), l'Université de Liège (Belgique) et Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES), (Belgique) ainsi que l'Association nationale des programmes de développement intégré (ANPDI) pour leur soutien. Ils remercient les enquêteurs et les agriculteurs qui ont participé à la collecte des données.

3.9 Références

- ANSD. 2017. “ Enquête Démographique et de Santé Continue (EDS-Continue 2017).” Dakar, Sénégal. 644p. www.ansd.sn.
- Camara, A., Dieng, A. and Mergeai, G. 2018. “Analyses prospectives des possibilités d’amélioration durable des performances des exploitations agricoles de l’ouest du Bassin arachidier du Sénégal: Cas des producteurs de Jatropha (*Jatropha curcas* L.)” *Tropicicultura* 36 (4): 658–672.
- Camara, Y., Moula, N., Sow, F., Sissokho, M.M. and Antoine-Moussiaux, N. 2018. “Analysing Innovations among Cattle Smallholders to Evaluate the Adequacy of Breeding Programs.” *Animal*, 1–10. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001544>.
- Chalchissa, G. 2018. “Evaluation of Biological Treatment of Barely Straw on Voluntary Intake and Milk Yield of Crossbred Dairy Cows under Small Scale Farmer ’ s Condition.” *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 8 (11): 79–83.
- FAO. 2011. “World Livestock 2011-Livestock in Food Security.” Rome. 130p.
- Floret, Ch., Pontanier, R. and Serpantié, G. 1993. *La jachère en Afrique Tropicale. Dossier MAB 16.* UNESCO, Paris. Edited by Malcolm Hadley. 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France: UNESCO. 87p.
- Floret, Ch. and Pontanier, R. 2001. *La jachère en Afrique Tropicale.* Edited by John Libbey Eurotext. Vol. 2. 127, avenue de la République, 92120 Montrouge, Paris, France. 90p.
- Goetz, V. 2011. “Le projet d’amélioration de la filière caprine de Fatick (PAFC) au Sénégal.” 12 bis, rue Saint Pierre 79500 MELLE, France. 13p.
- Julie, J. and Husson, F. 2016. “MissMDA : A package for handling missing values in multivariate data analysis.” *Journal of Statistical Software* 70 (1): 31p. <https://doi.org/10.18637/jss.v070.i01>.
- Karangiya, V.K. and Savsani H.H. 2016. “Use of densified complete feed blocks as ruminant feed for sustainable livestock production : A Review” *Agricultural Reviews* 37 (2): 141–147. <https://doi.org/10.18805/ar.v37i2.10739>.
- Kassa, K.S., Ahounou, S., Dayo, G.K., Chakirath, S., Mikidadou, T.I., Dotché, I., Gandonou, P.S. et al. 2016. “Performances de production laitière des races bovines de l’Afrique de l ’ Ouest” *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 10 (5): 2316–2330.
- Klerkx, L., Aarts, N. and Leeuwis, C. 2010. “Adaptive management in agricultural Innovation systems : The Interactions between innovation networks and their Environment.” *Agricultural Reviews* 103: 390–400. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.012>.
- Leroy, G., Baumung, R., Notter, D., Verrier, E., Wurzinger, M. and Scherf, B. 2017. “Stakeholder involvement and the management of animal genetic resources across the world.” *Livestock Science* 198 (June 2016): 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.018>.
- Mapiye, C., Mwale, M. and Mupeta. B. 2006. “Factors affecting milk production in the smallholder dairy sector of Zimbabwe.” *Livestock Research for Rural Development* 5: 15p.
- Roschinsky, R., Kluszczynska, M., Sölkner, J., Puskur, R. and Wurzinger, M. 2015. “Smallholder experiences with Dairy cattle crossbreeding in the tropics : From introduction to impact.” *Animal* 9 (1): 150–157. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002079>.
- Vall, E., Blanchard, M., Diallo, M.A. and Lecomte, P. 2012. “ L’Innovation par simplification expliquée par le principe de moindre quantité d’action de Maupertuis : Cas de l’intégration agriculture-élevage en Afrique Soudano-Sahélienne.” In 19ème rencontres autour des recherches

sur les ruminants, 5-6 Décembre 2012., Edited by Rencontres Recherches Ruminants, 19: 4 p.
Paris, France.

Chapitre 4

Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility, Energy, and Nitrogen Uses in Sahelian and Majorera Dairy Goats Fed Hay of *Vigna unguiculata*

Article publié dans Animals

Animals **2020**, 10, 861; doi:10.3390/ani10050861

- 4** *Etude 3: Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility, Energy, and Nitrogen Uses in Sahelian and Majorera Dairy Goats Fed Hay of Vigna unguiculata*

Préambule

Au Sénégal, les partenaires au développement (ONG, Projets, Etat) ont toujours considéré l'amélioration génétique comme une solution aux faibles productivités des races locales. Mais malheureusement toutes ces tentatives n'ont pas donné les résultats escomptés. Pour tenter d'apporter des solutions à ces constats et en complément aux études 1 et 2, répondre à la fois aux exigences d'un élevage caprin durable, l'étude a pour objectif d'étudier l'efficacité d'utilisation digestive entre la race locale (chèvre du Sahel) et une race introduite espagnole (chèvre Majorera), afin de déterminer la race la plus appropriée en terme de valorisation digestive des fourrages localement disponible.

Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility, Energy, and Nitrogen Uses in Sahelian and Majorera Dairy Goats Fed Hay of *Vigna unguiculata*

Fafa Sow^{1,2*}, Khady Niang³, Younouss Camara², El Hadji Traoré², Nassim Moula³, Jean-François Cabaraux³, Ayao Missohou⁴, Jean-Luc Hornick^{1,3}

¹University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management and Nutrition Unit, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;

²Senegalese Institute for Agricultural Research (ISRA), Bel Air, Routes des Hydrocarbures, BP 3120 Dakar, Senegal;

³University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management, FARAH Center, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;

⁴Office of Zootechnie-Feeding, Inter-State School of Veterinary Science and Medicine (EISMV), BP 577 Dakar, Senegal

*Correspondence: jlhornick@uliege.be; Tel: +32-(0)4-366-41-31; Fax: +32-(0)4-366-41-22

4.1 Abstract

This study aimed to compare digestive and metabolic characteristics in Sahelian (S) and Majorera (M) goat breeds. Six lactating females from each breed, with an average weight 27.0 ± 1.93 and 23.7 ± 1.27 Kg, respectively, were used. Cowpea hay, variety 58/74, was offered as sole feed ingredient, at a rate of 2 kg of fresh matter per animal per day. The animals were placed in metabolic cages and a digestibility test was conducted according to an adaptation period of 15 days and a collection period of 7 days. The daily chemical components offered and refused and recovered faeces, urine and milk were measured in order to assess energy and nitrogen utilization. The M and S goats had similar levels of dry matter (DM) intake as well as nutrient digestibility. On a metabolic weight basis, dry matter intake, gross energy intake, metabolizable and energy intake, digestible energy and energy lost as methane production were significantly higher ($p < 0.01$) in M than in S goats. Urinary energy excretion was similar ($p = 0.9$) between breeds, while faecal energy output was higher in M than in S goats. The milk energy output from the M goats was higher than that the S goats ($p < 0.05$). However, metabolizable to net energy conversion efficiency (klm) was not affected by breed ($p = 0.37$), while N intake, milk N yield and faecal N losses, relative to metabolic weight, were significantly higher ($p < 0.05$) in M than in S goats. Similarly, the percentage of dietary N intake excreted in urine (UNIN) was higher in S than in M breeds. The breed factor had no effect on N retained, N digestibility, urinary N and N use efficiency. In conclusion, the M and S goats were similar in terms of energy and nitrogen use efficiency, despite higher daily milk production and DM

consumption in the M goat. This suggests that the M breed is possibly more dependent on a dense nutrition diet than the S breed but requires less maintenance nitrogen.

Keywords: metabolism; digestibility; energy; nitrogen; breed; goat; *Vigna unguiculata*; variety 58/74

4.2 Introduction

The feeding of livestock in tropical regions is a continuing problem that is currently taking on greater importance because of the desire of many countries, notably Senegal, to develop and improve their livestock breeding (Labouche, Mainguy, and Mainguy 1954). Establishment of a balanced ration requires prior knowledge of the nutritional requirements of animals and feed values of the various products and by-products used. In tropical Africa, the nutritional needs of domestic animals are not well understood. As for the feed values, they were up to now mainly extrapolated from the results of trials performed elsewhere (Valenza Jean, Boudergues R. 1968).

In sub-Saharan Africa, goat supplementation is not a common practice among livestock farmers who give priority to cattle and sheep (Ayao Missohou et al. 2016). Yet, goats have withstood the Sahel drought better than other ruminant species (Sangaré and Pandey 2000). This observation has led to renewed interest for this species in the last ten years, but the nutritional constraint remains a concern because it limits animal performance and above all weakens the organism against parasitic and infectious diseases (Sangaré and Pandey 2000). Aboriginal ruminants in Sahel forage poor quality diets but are considered better adapted to valorise them when compared to their counterparts in temperate zones (Sangaré and Pandey 2000). Thus, more precise knowledge of their nutritional metabolism would allow the conversion efficiency of diet into products to be improved (Souza et al. 2014).

Energy and protein are the two main components for feeding dairy goats and the most important factors in calculating diet (Stubbs and Abud 2002). Energy is the most common nutritional deficiency limiting productivity, while protein is an essential requirement for growth, pregnancy and milk production. Good pasture provides adequate protein for these needs (Stubbs and Abud 2002). Few studies [4,7] address the energy and protein metabolism that local breeds might have developed in the Sahelian (S) zone in response to their different needs, although their role in saving and securing agrarian systems among the poorest populations is still important, given their significant potential for meat and milk (A Missohou et al. 2004). As Senegal is a country with an agricultural vocation, employing 60% of the rural population and with more than 750,000 family farms (ANSD 2019), there is justification for trying to increase livestock production by allowing goats to exploit available resources. Considering that, the ability to value protein and energy in local breeds is worth addressing (Kawashima et al. 2007). Indeed, the development and changes in agriculture and livestock farming in the current agro-climatic, economic, sociological and political context of Senegal require the improvement of animal feed and the development of fodder crops in production systems (Rippstein, G., Diouf, A., Sao. 2004). Thus, the fodder cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) WALP), one of the main

species favored in this policy, allows, in addition to better animal feed for maintenance and traction, better production of quality milk and meat throughout the year, to improve soil fertility through the production of manure and the sequestration of carbon and nitrogen in the soil (Morou, I., Rippstein 2004). Cowpea is a leguminous, herbaceous plant of the papilionaceous subfamily, well known in Africa. It is a plant of warm regions with different environments and a temperature of 20 °C to 40 °C. It can be grown with between 300 and 1500 mm of rainfall and adapts from semi-arid to humid areas (Younoussa 1995).

The importance of small dairy ruminants has increased significantly in recent years, especially in developing countries, where they are an interesting and important alternative for the supply of dairy products for human consumption (McDermott et al. 2010). The increased importance of dairy production is a consequence of its capacity to generate income, improving the living standards in rural subsistence-farming communities. It is therefore considered that dairy production in developing countries is an important tool to overcome social and economic issues, particularly child malnutrition and low-income generation (Boyazoglu, Hatziminaoglou, and Morand-Fehr 2005). Majorera (M) goats are characterized by their adaptation to semi-arid climates and by higher milk production with a mean production of more than 500 kg of milk per lactation (210 days) (Capote et al. 2002). They account for about 70% of the goat population in the Canary Islands. Introducing M goats in Senegal was mainly motivated by their adaptation characteristics similar to those of S breeds. The milk production of S goats, although relatively low in number per capita, is an important source of nutrients in the localities where they are raised (Ayao Missohou et al. 2016). Knowing that dry matter (DM) intake by ruminants varies according to size and genotype [17,18], the question should be raised whether feed intake and use of energy and protein may differ between breeds offered a nitrogen surplus diet consisting of a single ingredient such as cowpea, resulting in societal and utility impacts.

Thus, the aim of this study is to compare energy and protein metabolism between S and M goats fed legume hay forage cowpea, variety 58/74, in order to assess the effect of breed on DM intake and energy and nitrogen use efficiency.

4.3 Materials and Methods

4.3.1 Experimental Protocol, Animal and Plant Material

In the absence of proper regulation on the use of animals for research and animal welfare during experiments in Senegal, the protocols were carried out according to the best practices usually accepted by the Ethical Committee of the University of Liège (Belgium) when conducting similar experiments.

The experiment was conducted at the Sangalkam research station (Latitude 14°46' 44,30" North, Longitude 17°13' 33,65" West, Altitude 19 m), in the department of Rufisque located in the Niayes ecological zone of the Dakar region, Senegal. The climate is sub-Saharan and the soils are sandy-clayey and rich in organic matter (OM). In the hot and rainy season (June to October), average temperatures range from 25 to 30 °C with an average rainfall of 400–500 mm. In the cool season (November to April), average temperatures vary between 19 and 23 °C. The average annual rainfall is

about 400 mm. The test was carried out from February 2 to 24, 2018, and included two steps: a 15-day adaptation, followed by a 7-day measurement. A total of 12 healthy females, including 6 S and 6 M were used. All animals were mature and lactating with an average weight (mean \pm SD) of 27.0 ± 1.93 and 23.7 ± 1.27 kg, respectively in S and M breeds. They were 5 to 7 years old, 3 to 5 lactation ranks and 8 to 9 weeks of lactation stage. The initial daily milk production was 0.24 and 0.76 L/d in S and M groups, [3,19] respectively. One week before the adaptation period, all animals were dewormed with Ivermectin[®] 1%, received vitamins (stress vitam[®]) and were vaccinated against plague of small ruminants, smallpox, pasteurellosis and enterotoxaemia. They were housed in individual stalls (dimensions 190 \times 65 cm) with feeder and water devices. The diet consisted of 100% haulm of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp, variety 58/74; Table 5.1), a legume widely cultivated in sub-Saharan Africa (Cameron 2003). Fodder was harvested from legumes grown between mid-August and mid-October 2017 in Sangalkam station, during the rainy season, preceding the experimental period. The whole plant was harvested 8 weeks after sowing and air-dried in the shade. Daily, 2 kg of cowpea haulm per animal was chopped and divided into two meals of equal size offered at 8:30 am and 2:30 pm. The animals had free access to water and did not receive any mineral supplements. The daily feedstuff intakes were calculated by difference between the amounts offered and refused.

Table 5.1. Chemical composition of Cowpea fodder haulm (*Vigna unguiculata*), (Cowpea, var.58/74) used in the experiment.

OM	CP	EE	CF	ADF	NDF	ADL	GE
(% DM)							(kcal/Kg DM)
76.9	15.0	2.60	11.4	38.6	55.3	5.40	3996

% DM = Percentage of dry matter; OM = organic matter; CP = crude protein; EE = ether extract; CF = crude fiber, ADF = acid detergent fiber; NDF = neutral detergent fiber; ADL = acid detergent of lignin; GE= gross energy.

4.3.2 Sample Collection and Chemical Analyses

During the seven days of experimentation, 100 g feed samples were daily collected and pooled. Refusals and faeces were weighed each morning before a new ration was distributed, and samples (100 g) were placed in labelled plastic bags, allowing individual identification of the animals, and stored at -20 °C. Composite samples of the collected material were dried at 60 °C to constant weight in a ventilated oven, ground to pass a 1-mm screen (Wiley mill, Marconi, MA-580; Piracicaba, Brazil) and stored in sealed plastic containers for subsequent analyses. A daily sample of 5 mL of urine per urination, with an average of 5 urinations per goat per day, was collected between 8.30 a.m. and 6 p.m. and then placed in single vial and immediately stored at -4 °C to avoid nitrogen volatilization until chemical analysis. Samples (175 mL) of urine were collected for nitrogen, energy and creatinine determinations from individual pooled samples (Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G. 2004). The average

creatinine excretion of 0.197 mmol/kg body weight, previously determined by total urine collection in adult Hereford cows (Jardstedt et al. 2017), was used to calculate urine volume as: urine volume (L) = (0.197 (mmol/kg body weight) × body weight (kg))/creatinine excretion (mmol). This choice is supported by [23,24], which according to their studies in ruminants (cattle, buffaloes, sheep and goats) and rabbits, urinary creatinine concentration is affected neither by diet nor by the physiological state of the animal but is excreted in proportion to the body weight of any of the species studied. To ensure the absence of animal weight change during the study, the goats were weighed each morning after complete milking. Milk production was registered, and a 10 mL sample was collected in vials and stored at -4 °C for further analysis. All samples were analyzed for DM, ashes and crude protein (CP) using AOAC International methods (Kenneth Helrich 1990). For feed and faeces, the contents of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent of lignin (ADL) and acid detergent fiber (ADF) were determined using the Van Soest method (Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G. 2004). Gross energy of the composite samples was determined using an adiabatic bomb calorimeter (Werke C2000, IKA; Staufen, Germany).

4.3.3 Calculations and Statistical Analysis

Apparent nutrient digestibility were determined from feed intakes and faecal losses (Barbosa et al. 2018). Nitrogen and energy balances were obtained by taking into account energy and nitrogen losses in urine, faeces and milk, and estimation of energy lost in methane (Romero-Huelva, Ramos-Morales, and Molina-Alcaide 2012). Per animal daily average gross energy (GE) intake, faecal energy lost (FE), digestible energy (DE) intake, energy lost in urine (UE), energy lost as methane (ECH4), metabolizable energy (ME) intake, energy excreted in milk (NEI) and milk efficiency ratio (klm) were deducted from the 7-day measurement period and determined as follow [28,29]:

$$GE \text{ (kcal/animal//d)} = \text{gross energy feed (kcal/kgDM)} \times \text{DM intake (kg/animal/d)} \quad (1)$$

$$UE \text{ (kcal/animal//d)} = \text{gross energy urine (kcal/kgDM)} \times \text{urine DM (kg/animal/d)} \quad (2)$$

$$FE \text{ (kcal/animal//d)} = \text{gross energy faeces (kcal/kgDM)} \times \text{faecal DM (kg/animal/d)} \quad (3)$$

$$NEI \text{ (kcal/animal//d)} = \text{gross energy milk (kcal/kgDM)} \times \text{milk DM (kg/animal/d)} \quad (4)$$

$$DE \text{ (kcal/animal//d)} = GE - FE \quad (5)$$

$$ME \text{ (kcal/animal//d)} = DE - ECH4 - UE \quad (6)$$

ECH4 was estimated from the equation of [23–30], using $ECH4\%GE = 3.67 + 0.062 \times dE$, where ECH4%GE is the energy lost in CH4 in kcal/100kcal GE, dE the apparent energy digestibility coefficient, and ECH4 (Kcal/animal//day) was obtained as $GE \times \% CH4$.

$$q = (GE - FE - UE - ECH4)/GE = ME/GE \quad (7)$$

and klm was estimated from $0.65 + 0.247 \times (q - 0.63)$, INRA, 2018 (P. Nozière, D. Sauvant 2018).

Similarly, daily average nitrogen intake (Ni), urinary nitrogen (UN), faecal nitrogen (FN), milk nitrogen (MN), N digestibility (ND), nitrogen retained (NR), nitrogen utilization efficiency (NuE) and dietary N intake excreted in urine (UNIN) were determined as follows:

$$Ni \text{ (g/animal/d)} = \text{crude protein intake (CP, g/animal/d)}/6.25 \quad (8)$$

$$FN \text{ (g/animal/d)} = \text{faecal crude protein (FCP, g/animal/d)}/6.25 \quad (9)$$

$$MN \text{ (g/animal/d)} = \text{milk protein (MP, g/animal/d)}/6.38 \quad (10)$$

whereby, according to the Kjeldahl method, the coefficient of 6.38 allows the transformation of the determined amount of nitrogen into protein weight;

$$UN \text{ (g/animal/d)} = N\text{-NH}_4 \text{ (g/L)} \times \text{urine volume (L/d)} \quad (11)$$

where N-NH₄ is ammoniacal nitrogen;

Apparent N digestibility (Nd) was determined from feed N intake and faecal N loss.

$$NR \text{ (g/animal/d)} = Ni - (FN + UN); \quad (12)$$

$$NuE \text{ (\%)} = NR/Ni. \quad (5)$$

$$UNNi \text{ (\%)} = UN/Ni. \quad (6)$$

For the purpose of energy and nitrogen metabolism description, the results were expressed per kg of metabolic body weight.

Data on intake, digestibility, energy and urinary metabolism parameters were analyzed as means at group level using the procedure PROC ANOVA 1 from SAS/STAT[®] software, SAS System for Windows Version 9.4 (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA) according to the following statistical model:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + e_i \quad (75)$$

where Y_i is the dependent variable, μ is the overall mean, α_i is the fixed effect of breed ($i = 1, 2$), and e_i is the residual error. The F-values were considered significant at $p < 0.05$ and tendencies were assumed at $0.05 < p \leq 0.10$. Data reported are LS means and standard error of mean.

4.4 Results

4.4.1 Intake and Apparent Digestibility

Results from DM, chemical component intake and apparent digestibility are shown in Table 5.2. Expressed on a live weight basis, the feed DM intake tended to be lower ($p < 0.09$) in S than in M goats. When regard to metabolic weight, the value was significantly higher ($p < 0.05$) in M than in S

goats. Although no significant differences were observed between the two breeds for DM and OM digestibility, however near trends for differences could be noted ($p = 0.1$).

Table 5.2. Dry matter, chemical component intake and apparent digestibility (%) in lactating goats from Majorera and Sahelian breeds fed cowpea fodder

Chemical Composition	Goat Breed		SEM	<i>p</i> -Value
	Majorera	Sahelian		
Intake (Kg/animal/d)				
DM	1.0	0.86	0.05	0.09
DM (g/Kg ^{0.75})	92.7	70.2	5.22	0.01
OM	0.87	0.76	0.04	0.13
EE	0.04	0.03	0.002	0.09
CP	0.18	0.15	0.01	0.07
NDF	0.46	0.39	0.03	0.13
ADF	0.27	0.20	0.03	0.14
Apparent digestibility (%)				
DM	58.5	64.5	2.41	0.1
OM	59.9	64.9	2.02	0.1
EE	61.3	71.6	4.79	0.15
CP	54.3	61.4	3.12	0.13
NDF	55.1	58.9	3.20	0.42
ADF	46.9	39.9	5.74	0.41

The significance effect were considered at $p < 0.05$; SEM: standard error of means; DM: dry matter; OM: organic matter; EE: ether extract; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber

4.4.2 Energy and Nitrogen Uses

Results on weight parameters and energy and nitrogen uses are shown in Table 5.3.

The live or metabolic weight of M was significantly lower ($p < 0.003$) than that of S goats. Gross, digestible and metabolizable energy intake (Kcal/Kg^{0.75}) were significantly higher ($p < 0.01$) for M than for S goats. While UE output was similar ($p = 0.9$) between the two breeds, the amount of energy lost in the faeces was higher ($p = 0.01$) for M than for S goats. Similarly, net milk energy output was higher ($p < 0.05$) for M than for S goats, with more than doubled values in M, when compared to S. Some effects between breeds were observed on energy use efficiency. Therefore, the lower values of DE observed in S goats were compensated by lower energy losses in methane and, as a result, resulted in similar klm values ($p = 0.37$). Energy digestibility was close to 59% and similar between the two races. The UE/DE ratio was numerically lower in M than in S (10.6 vs. 15.0,

respectively, $p = 0.17$), while the ECH4 was similar at 6.25%. The ME/DE ratio was numerically higher in M than in S (due to the lower proportion of UE loss). Consequently, the q-value was lower in S, but the calculated klm values were close and of the order of 62%.

Nitrogen intake and faecal N relative to metabolic weight were significantly higher ($p < 0.01$) for M than for S goat. Similarly, milk N was 41% higher ($p < 0.05$) for M than for S goats. The percentage of dietary N intake excreted in urine (UNIN) accounted for about 60% and was higher in S ($p < 0.05$) than in M. No significant differences ($p > 0.1$) were observed between the two breeds in UN output and N retained, and N use efficiency; however, near trends for differences in N digestibility could be noted ($p = 0.1$). The percentage of N intake recovered in milk was doubled in the M group, when compared to Sahelian animals (7.17 vs 3.6%, $p < 0.04$).

Table 5.3. Weight parameters, energy and nitrogen uses in lactating goats fed cowpea hay var.58/74.

Parameters	Goat Breed		SEM	<i>p</i> -Value
	Majorera	Sahelian		
Live weight (LW.kg)	23.7	27.0	0.59	0.003
Metabolic weight (kg ^{0.75})	10.8	11.9	0.19	0.003
Milk production (L/d)	0.37	0.15	0.06	0.02
Energy metabolism (kcal/d/ kg^{0.75} or %)				
Gross energy intake	372.8	268.3	22.44	0.008
Faecal energy	154.2	109.7	10.43	0.01
Digestible energy intake	218.6	158.6	12.75	0.007
Energy digestibility (%)	58.6	59.2	0.98	0.68
Urinary energy	23.2	23.8	3.98	0.9
UE/DE (%)	10.8	15.6	0.02	0.17
ECH4	13.8	9.9	0.83	0.008
ECH4/DE (%)	6.2	6.3	0.001	0.5
Metabolizable energy intake	195.4	134.8	13.28	0.009
ME/DE (%)	82.9	77.9	2.43	0.17
q=ME/GE (%)	48.6	46.3	1.8	0.37
Net Energy of lactation	27.5	12.5	4.39	0.04
Klm	62.4	61.8	0.04	0.37
Nitrogen metabolism (g/d/kg^{0.75} or %)				
Nitrogen intake	2.6	2.1	0.1	0.004
Faecal nitrogen	1.2	0.8	0.1	0.01

Urinary nitrogen	1.46	1.44	0.05	0.78
Milk nitrogen	0.2	0.07	0.03	0.02
N digestibility (%)	54.3	62.4	3.4	0.10
UNIN (%)	55.2	69.7	4.2	0.04
Nitrogen retained	-0.01	-0.13	0.12	0.51
NuE (%)	-0.90	-7.32	5.58	0.44

The significance effect were considered at $p < 0.05$ were considered significant at $p < 0.05$; SEM: standard error of means; UE: urinary energy, DE: digestible energy; ECH4: energy lost in methane; ME: metabolisable energy; GE: gross energy; klm: efficiency of energy use for lactation and maintenance; UNIN: percentage of dietary N intake excreted in urine; NuE: nitrogen utilization efficiency.

4.5 Discussion

4.5.1 Intake and Apparent Digestibility of Nutrients

The natural feeding behavior of goat is not negligible, as according to (Ramanzin et al. 2017) goats are more selective ruminants. They preferably feed on the most nutritious parts of plants (Vasta et al. 2008),34]. However, in this experiment, the animals had access to high quality fodder and few refusals were observed. It is noteworthy that the fodder contained about 15% CP in DM, indicating the high nutritional value of the feedstuff (Falaye Augustine Eyiwunmi 2015) and adequate availability of fermentable nitrogen in rumen. Our results are lower than those [27,36] in dairy goats fed alfalfa, hay and concentrate or ruminants (goats, sheep and llamas) fed a green hay and straw-based ration.

The results on the DM intake in relation to metabolic weight showed a greater ingestion capacity of M than S. According to (L. M. M. Ferreira¹, G. Hervas², A. Belenguer², R. Celaya³, M. A. M. Rodrigues¹, U. Garcia³ 2017), it is difficult to compare feed consumption values, as they are known to be influenced by factors such as the characteristics of the animals, environmental conditions, management type and their interactions. In the context of this experiment, animal factors only differed between the two groups and should be considered. The higher metabolic DM intake in M goats is probably associated to the higher milk production observed in this group (0.37 ± 0.2 vs. 0.15 ± 0.07 l). Considering that in goats DM intake increase by 0.405 kg per liter of milk production (P. Nozière, D. Sauvart 2018), the corrected DM intake for maintenance were close at 72 and 74 g per kg metabolic weight in M and S breeds, respectively. This is considered as close to the standard value obtained with good forage. Our results are similar to those of (Sangaré and Pandey 2000), who found an ingested DM of 64 and 93 g/kg^{0.75} in lactating S goats.

As for DM and nutrient digestibility, our results are lower than those reported by [27,36], except for the digestibility of NDF, which showed close values. There was no difference between the two breeds on digestibility of all the chemical constituents (Sabia et al. 2015). However, trends in the differences in digestibility of DM and OM to the advantage of S goats could be observed ($p = 0.1$).

Chewing and rumination time, salivation and rumen motility are among the factors influencing digestibility (Khan, Mahr-Un-Nisa, and Sarwar 2003), and the higher the intake, the lower the digestibility, which is explained by an increase in rumen transit time (Peyrat 2014).

4.5.2 Energy and Nitrogen Uses

Despite highly significant differences ($p < 0.05$) in favor of M goats on faecal energy and methane and a corresponding very high significant difference ($p < 0.01$) in metabolizable energy (ME) intake, the different energy transformation coefficients showed especially a higher proportion of energy lost as urine in S goats. This is probably due to lower protein catabolism associated to higher milk production in the M group. However, the calculated klm values were similar at 0.6 for M and S goats. Our results on energy efficiency were lower than those found by [18,41] (0.67 and 0.695, respectively). According to (Piñeiro-Vázquez et al. 2017), under tropical conditions, ruminants are generally fed low-protein forages with high NDF content and low DM digestibility and ME concentration. These factors result in lower use of ME as more energy is lost as heat due to effort of DM digestion. In the context of this experiment, the feedstuff offered could be considered, with close to 70% of GE being digestible, as good quality, which probable reduced this phenomenon. Depending on the breed, our results showed a superiority ($p < 0.01$, Table 3) in favor of the M over the S goats with regard to metabolizable energy intake (EM, kcal/day/kg^{0.75}) with M showing 35% higher values than the S goats. Assuming a similar value of klm, and considering the net energy (NE) of lactation obtained in the two breeds of this experiment, the respective maintenance ME intakes per kg metabolic weight were 151 and 115 kcal, i.e., 32% higher in M when compared to S. These results corroborate those of (Nsahlai et al. 2004), who found the metabolizable energy for maintenance 8% higher for dairy goats compared to local goats. According to (Félix-Bernal et al. 2016), several factors influence maintenance energy requirements, such as breed, sex, age, environmental conditions and activity. The ME and probably also the NE values for maintenance of S goats are lower than those obtained in exotic breeds such as Saanen and Boer, which are more specialized in milk or meat production (Nsahlai et al. 2004). Our results corroborate those found by (Vasta et al. 2008), while they are similar to those found by (Romero-Huelva, Ramos-Morales, and Molina-Alcaide 2012).

Nitrogen intake and faecal and milk nitrogen relative to metabolic weight were significantly higher ($p < 0.05$; Table 3) in the M than the S goats, but urine nitrogen outputs were very similar. The numerically higher N digestibility in the S group is probably of little importance, if any, and it could be associated with lower feed and N intake in this group. According to (Sauvant et al. 2012), due to the mechanisms of N homeostasis, faecal and urinary nitrogen excretion are closely linked to N intake in ruminants. However, the similar urinary N observed in this experiment suggests that N was better converted into milk N in the M group. Indeed, M animals were twice as efficient at transferring N to the milk. This phenomenon could be due to lower protein maintenance requirement, but this needs to be confirmed. For both breeds, nitrogen retained was close to but less than zero (i.e., greater amounts of nitrogen were excreted in the faeces and urine than those ingested with the diet). This suggests that

although the weight of the animals remained constant during the experiment, body compartment changes could occur and that the conclusions of this study have to be considered carefully.

4.6 Conclusions

Cowpea hay fodder, var.58/74, appears to be a high-quality fodder for goat. When M breed goats were offered this fodder, they showed a greater flux of energy and nitrogen across the organism than S goats, but efficiency of energy use was quite similar, despite a higher basal metabolism rate in the European breed. In hard conditions, the S breed is probably better adapted to survive. M goat is more productive but requires probably higher quality feedstuffs and more attention from the breeder. However, further studies are still needed to confirm these findings, especially the paradoxically lower nitrogen maintenance requirement in M goats.

4.7 Acknowledgments

The authors would like to thank the staff of the National Laboratory of Veterinary Breeding and Research, through its director, for making our experiments easier. They acknowledge the support of the Senegalese Institute of Agricultural Research (ISRA) and the University of Liège, Belgium.

4.8 References

- Labouche, C.; Mainguy, P. Aspects physiologiques et nutritionnels de l'alimentation du bétail en Afrique tropicale. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. 1954, volume 7, pp. 221–307.
- Valenza Jean, P.J.; Boudergues, R. Digestibilité de quelques foin et pailles de la république du Sénégal. In *Proceedings of the Conférence Régionale FAO pour l'Établissement d'un Programme de Recherches Agronomiques sur des Bases Ecologiques en Afrique*, Rome, Italy. 11–15 novembre 1968; p. 8.
- Missohou, A.; Nahimana, G.; Bosco, S.; Mbacké, A. Elevage caprin en Afrique de l'Ouest: Une synthèse. *Goat Breed in. West Africa A Rev. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.* 2016, 69, 3–18. (In French)
- Sangaré, M.; Pandeyt, V.S. Food intake, milk production and growth of kids of local, multipurpose goats grazing on dry season natural Sahelian rangeland in Mali. *Anim. Sci.* 2000, 71, 165–173.
- Souza, A.P.; Medeiros, A.N.; Carvalho, F.; Costa, R.; Ribeiro, L.; Bezerra, A.; Branco, G.; Silva, C. Energy requirements for maintenance and growth of Canindé goat kids. *Small Rumin. Res.* 2014, 121, 255–261.
- Stubbs, A.; Abud, G. *Dairy goat manual*; Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDC): Canberra, Australia, 2002; p. 44.
- Makun, H.J. Effect of supplementation with different protein sources on the feed intake and growth in red sokoto and sahelian goats. *J. Anim. Prod. Res.* 2016, 28, 263–274.
- Missohou, A.; Diouf, L.; Sow, R.S.; Wollny, C.B.A. Goat milk production and processing in the NIAYES in Senegal. *South Afr. J. Anim. Sci.* 2004, 34, 151–154.
- ANSD. *Situation Economique et Sociale du Sénégal*; ANSD: Dakar, Senegal, 2017.
- Kawashima, T.; Sumamal, W.; Pholsen, P.; Chaithiang, R.; Terada, F. Comparative Study on Energy and Nitrogen Metabolism of Brahman Cattle and Sheep Given Ruzi Grass Hay with Different Levels of Soybean Meal. *Jpn. Agric. Res. Q.* 2007, 41, 253–260.
- Rippstein, M.; Diouf, G.; Sao, A. Développement des Cultures Fourragères dans le Bassin de L'arachide au Sénégal: Motivations et Facteurs D'adoption des Soles Fourragères par les Paysans; *Animal Production Research: Banjul, The Gambia*, 2004; p. 34.
- Morou, G.; Rippstein, I. Développement des Cultures Fourragères dans le Bassin de L'arachide au Sénégal: Typologie des Paysans, Production de Fourrages; *Animal Production Research: Banjul, The Gambia*, 2004; p. 53.
- Younoussa, H.D. Etude des Composantes de Rendement et de la Qualité Fourragère de Quelques Variétés de Niébé (*Vigna Unguiculata*); Université Abdou Moumouni de Niamey: Niamey, Niger, 1995; p. 119.
- McDermott, J.; Staal, S.; Freeman, H.; Herrero, M.; Van De Steeg, J. Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics. *Livest. Sci.* 2010, 130, 95–109.
- Boyazoglu, J.; Hatziminaoglou, I.; Morand-Fehr, P. The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Rumin. Res.* 2005, 60, 13–23.
- Capote, J.; Delgado, J.; Fresno, M.; Camacho, M.; Molina, A. Morphological variability in the Canary goat population. *Small Rumin. Res.* 1998, 27, 167–172.
- Félix-Bernal, J.A.; Estrada-Angulo, A.; Angulo-Escalante, M.A.; Castro-Pérez, B.I.; Landeros-López,

- H.; López-Soto, M.A.; Barreras, A.; Zinn, R.A.; Plascencia, A. Feeding value of supplemental *Jatropha curcas* crude oil in finishing diets for feedlot lambs. *J. Anim. Sci.* 2016, 94, 3875–3882.
- Nsahlai, I.V.; Goetsch, A.; Luo, J.; Johnson, Z.; Moore, J.; Sahlu, T.; Ferrell, C.; Galyean, M.; Owens, F. Metabolizable energy requirements of lactating goats. *Small Rumin. Res.* 2004, 53, 253–273.
- Ferro, M.M.; Tedeschi, L.O.; Atzori, A.S. The comparison of the lactation and milk yield and composition of selected breeds of sheep and goats. *Transl. Anim. Sci.* 2017, 1, 498–506.
- Cameron, A.G. Forage and Grain Cowpeas; Agnote: Sydney, Australia, 2003; pp. 1–3.
- Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage (Porcs, volailles, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons), 2nd ed.; INRA: Paris, France, 2004; p.301.
- Jardstedt, M.; Hessle, A.; Nørgaard, P.; Richardt, W.; Nadeau, E. Feed intake and urinary excretion of nitrogen and purine derivatives in pregnant suckler cows fed alternative roughage-based diets. *Livest. Sci.* 2017, 202, 82–88.
- Blaxter, K.L.; Clapperton, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nutr.* 1965, 19, 511–522.
- Santos, S.; Prates, L.L.; Carvalho, G.G.P.; Dos Santos, A.C.S.; Filho, S.D.C.V.; Tosto, M.; Mariz, L.D.S.; Neri, F.D.S.; Sampaio, M.D.Q. Creatinine as a metabolic marker to estimate urinary volume in growing goats. *Small Rumin. Res.* 2017, 154, 105–109.
- Helrich, K. AOAC Official Methods of Analysis; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA, 1990; Volume 1, pp. 136–138.
- Barbosa, A.L.; Voltolini, T.V.; Menezes, D.; Nascimento, J.C.S.; De Moraes, S.A.; Rodrigues, R.T.D.S. Intake, digestibility, growth performance, and enteric methane emission of Brazilian semiarid non-descript breed goats fed diets with different forage to concentrate ratios. *Trop. Anim. Health Prod.* 2017, 50, 283–289.
- Romero-Huelva, M.; Ramos-Morales, E.; Molina-Alcaide, E. Nutrient utilization, ruminal fermentation, microbial abundances, and milk yield and composition in dairy goats fed diets including tomato and cucumber waste fruits. *J. Dairy Sci.* 2012, 95, 6015–6026.
- Blaxter, K.L. Energy metabolism; Report of Sub-Committee on Constants and Factors; Academic Press: London, UK, 1965.
- Piñeiro-Vazquez, A.T.; Jiménez-Ferrer, G.O.; Chay-Canul, A.; Casanova-Lugo, F.; Díaz-Echeverría, V.F.; Ayala, A.; Solorio-Sánchez, F.J.; Aguilar-Pérez, C.F.; Ku-Vera, J. Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2017, 228, 194–201.
- Sauvant, D. La production de méthane dans la biosphère: Le rôle des animaux d'élevage. *Courr. L'Environ.* 1992, 18, 65–70.
- Nozière, L.D.P.; Sauvant, D. INRA Feeding System for Ruminants; INRA: Wageningen, The Netherlands, 2018.
- Ramanzin, M.; Aguado, M.; Ángeles, P.; Ferragina, A.; Sturaro, E.; Semenzato, P.; Serrano, E.; Clauss, M.; Albanell, E.; Cassini, R.; et al Methodological considerations for the use of faecal nitrogen to assess diet quality in ungulates: The Alpine ibex as a case study. *Ecol. Indic.* 2017, 82, 399–408.
- Vasta, V.; Nudda, A.; Cannas, A.; Lanza, M.; Priolo, A. Alternative feed resources and their effects on

- the quality of meat and milk from small ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2008, 147, 223–246.
- Nielsen, M.O.; Kiani, A.; Tejada, E.; Chwalibog, A.; Alstrup, L. Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high- and low-quality grass-based diets. *Arch. Anim. Nutr.* 2014, 68, 171–185.
- Augustine, O.; Eyiunmi, F.A.; Bolanle, A.S. Practical Growth Performance and Nutrient Utilization of Catfish *Clarias gariepinus* Fed Varying Inclusion Level of Fermented Unsieved Yellow Maize. *J. Nat. Sci. Res.* 2020, 10, 43–50.
- Jalali, A.; Nørgaard, P.; Weisbjerg, M.; Nielsen, M. Effect of forage quality on intake, chewing activity, faecal particle size distribution, and digestibility of neutral detergent fibre in sheep, goats, and llamas. *Small Rumin. Res.* 2012, 103, 143–151.
- Ferreira, L.M.; Hervás, G.; Belenguer, A.; Celaya, R.; Rodrigues, M.A.M.; Garcia, U.; Frutos, P.; Osoro, K. Comparison of feed intake, digestion and rumen function among domestic ruminant species grazing in upland vegetation communities. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2016, 101, 846–856.
- Sabia, E.; Claps, S.; Napolitano, F.; Annicchiarico, G.; Bruno, A.; Francaviglia, R.; Sepe, L.; Aleandri, R. In vivo digestibility of two different forage species inoculated with arbuscular mycorrhiza in Mediterranean red goats. *Small Rumin. Res.* 2015, 123, 83–87.
- Khan, M.A.; Un Nisa, M.; Sarwar, M. Techniques Measuring Evaluation of Feeds Digestibility for the Nutritional Evaluation of Feeds. *Int. J. Agric. Biol.* 2003, 5, 91–94.
- Peyrat, J. Digestion de L'amidon et des Parois Végétales du Maïs Fourrage Chez les Ruminants: Conséquences sur L'évaluation de sa Valeur Nutritive; Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, France. 2014; p. 286.
- Sauvant, D.; Giger-Reverdin, S.; Meschy, F.; Puillet, L.; Schmidely, P. Actualisation des recommandations alimentaires pour les chèvres laitières. *INRA Prod. Anim.* 2012, 25, 259–276.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Chapitre 5

Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility and Faecal Microbiota in Sahelian and Majorera lactating Goats Fed Hay of *Vigna unguiculata*

Article soumis pour publication

- 5 *Etude 4: Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility and Faecal Microbiota in Sahelian and Majorera lactating Goats Fed Hay of Vigna unguiculata*

Préambule

Dans la même perspective que l'étude 3, l'étude 4 a pour objectif de décrire la diversité de la population microbienne active chez les deux races de chèvres nourries à base de fanes de niébé fourrager, comme élément éventuel d'explication de l'efficacité digestive des animaux.

Ce chapitre est écrit sous forme d'article et soumis pour publication.

Comparative Study of Intake, Apparent Digestibility and Faecal Microbiota in Sahelian and Majorera lactating Goats Fed Hay of *Vigna unguiculata*

Fafa SOW^{1,2*}, Hiba Jabri⁴, Alpha Diallo², El Hadji Traoré², Simplicie Bosco Ayssiwede⁵

Bernard Taminiou⁴, J.L. Hornick^{1,3}

¹University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management and Nutrition Unit, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;

²Senegalese Institute for Agricultural Research (ISRA), Bel Air, Routes des Hydrocarbures, BP 3120 Dakar, Senegal;

³University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Resources Management, FARA Center, Quartier vallée 2, avenue de Cureghem 6, B43a, 4000 Liège, Belgium;

⁴University of Liège, Belgium, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Sciences

⁵Office of Zootechnie-Feeding, Inter-State School of Veterinary Science and Medicine (EISMV), BP 577 Dakar, Senegal

*Correspondence: sowvet2002@yahoo.fr

5.1 Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of breed on the digestibility of legume forage and intestinal microbiota in Sahel (S) and Majorera (M) goats. Six lactating females from each breed, with an average weight 27.0 ± 1.93 and 23.7 ± 1.27 kg, respectively, were used. Cowpea hay, variety 58/74, was offered as sole feed ingredient, at a rate of 2 kg per animal per day. The animals were placed in metabolic cages and a digestibility test was conducted according to an adaptation period of 15 days and a collection period of 7 days. The M and S goats had similar levels of dry matter (DM) intake as well as nutrient digestibility. In addition, amplicon profiling of the 16S ribosomal RNA gene showed that the relative abundance of phyla in the faecal microbiota was similar between breeds, highlighting the dominance of phyla firmicutes representing 94.4 % of the total sequences, followed by Actinobacteria with 3.7 % of the sequences. Bacteroidetes represented 0.7% of the total sequences. The proportions of Lactobacillales, Erysipelotrichales, and Bifidobacteria were higher in M goats than in S ($p \leq 0.05$), while that of Elusimicrobials was lower in M than in S ($p \leq 0.04$). No significant effect of breed on bacterial diversity was observed (R-ANOSIM = 0.198; P = 0.082).

However, out of 284 genera identified in our samples, eight (08) showed breed difference, i.e, the genera *Atopostipes*, *Bifidobacteriaceae*_ge, *Defluviitaleaceae*-UCG-011, *Enteractinococcus*, *Lachnospiraceae*-UCG-008, *Muribaculaceae*_ge and *Roseburia* significantly more represented in M than in S ($p = 0.037$), while *Bacillus* was significantly lower in M than in S ($p = 0.045$).

In conclusion, M and S goats were similar in terms of digestibility and faecal microbiota, despite a higher DM intake in the M goat probably due to higher milk yield.

Keywords: digestibility; faecal microbiota; breed; goat; *Vigna unguiculata*; variety 58/74

5.2 Introduction

Ruminant productivity in dry tropical areas is generally limited by adequate protein intake. Indigenous ruminants in Sahel eat poor quality diets but are considered better adapted to value them compared to their counterparts in temperate zones (Sangaré and Pandey 2000). The digestive microbiota is composed of bacteria, archaea and eukaryotes (fungi, yeasts) in variable proportions (Hobson and Stewart 1997; Calenge, Phocas, and Morgavi 2014). Ruminants depend on microbiota for food digestion (Pitta et al. 2018). Microbiota affects both feed efficiency, quality of ruminant production and methane production (Morgavi et al. 2013 and 2010). Diet is an essential factor influencing microbiota of the digestive tract. Nature, form of presentation, level of intake, frequency of distribution are all elements that can influence microorganism communities (Larue et al. 2005). Dietary fibre is a key driver of diet digestibility but their role in productive performance has not received the same attention in goats as in other cattle (Lu, Kawas, and Mahgoub 2005).

In ruminants, the microbiota is mainly present in the rumen (Lescarret, 2019). The microbial ecosystems in other parts of the ruminant digestive tract are less known, but the relative abundance of bacteria, eukaryotes and Archaea, vary according to the compartments of the digestive system (Lin and Raskin, 1997). In goat, bacterial rRNA represents 59% of the total rRNA present in the rumen, compared to 66% and 73% respectively in the colon and cecum. *Butyrivibrio* is the dominant genus since 70% of the isolated strains belong to it. This proportion is higher than what has already been observed in cattle or sheep (Dehority and Grubb 1976). Inter-individual variability has been observed in bacterial community in rumen of sheep (Michelland et al., 2012), and in human colon (Zoetendal and Mackie 2014). It has been also shown in mice that digestive microbiota is a complex polygenic ecosystem, influenced by combinations of environmental and genetic host factors (Benson et al. 2010). Differences in microbiota profiles are observed between rumen and faeces (Michelland et al. 2009). Faeces only imperfectly reflect microbiome of digestive tract; their study remains scientifically relevant if variations in their composition can be related to phenotypic variations in animals. In ruminants, some studies showed that composition of rumen bacterial community depends on breed (Roos et al. 2014; Lescarret 2019).

A better understanding of genetic and husbandry factors controlling adaptability to variability in feed quality (related to animal and/or its microbiota) could be beneficial to define better selection and feeding strategies. To date, no studies have reported the effect of breed on composition of faecal microbiota of goats, using metagenomics analysis based on the 16S rRNA gene. In addition, links between digestive use of forages and faecal microbiota are poorly known.

Thus, this study aimed to evaluate inter-breed variations in bacterial communities residing in large intestine of goats and their relationship with the digestibility of a forage diet.

5.3 Materials and Methods

5.3.1 Experimental Protocol, Animal and Plant Material

In the absence of proper regulation on the use of animals for research and animal welfare during experiments in Senegal, the protocols were carried out according to the best practices usually accepted by the Ethical Committee of the University of Liège (Belgium) when conducting similar experiments.

The experiment was conducted at the Sangalkam research station (Latitude 14°46' 44,30" North, Longitude 17°13' 33,65" West, Altitude 19 m), in the department of Rufisque located in the Niayes ecological zone of the Dakar region, Senegal. The climate is sub-Saharan and the soils are sandy-clayey and rich in organic matter (OM). In the hot and rainy season (June to October), average temperatures range from 25 to 30°C with an average rainfall of 400–500 mm. In the cool season (November to April), average temperatures vary between 19 and 23°C. The average annual rainfall is about 400 mm. The test was carried out from February 2 to 24, 2018, and included two steps: a 15-day adaptation, followed by a 7-day measurement. Twelve healthy females, including 6 S and 6 M were used. Animals were mature and lactating with average weight (mean \pm SD) of 27.0 ± 1.93 and 23.7 ± 1.27 kg, respectively in S and M breeds. They were 5 to 7 years old, 3 to 5 lactation ranks and 8 to 9 weeks of lactation stage. One week before the adaptation period, all animals were dewormed with Ivermectin 1%, received vitamins and were vaccinated against plague of small ruminants, smallpox, pasteurellosis and enterotoxaemia. They were housed in individual stalls (dimensions 190 x 65 cm) with feeder and water devices. The diet consisted of 100% haulm of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp, variety 58/74; Table 1), a legume widely cultivated in sub-Saharan Africa (Cameron 2003). Fodder was harvested from legumes grown between mid-August and mid-October 2017 in Sangalkam station, during the rainy season, preceding the experimental period. The whole plant was harvested 8 weeks after sowing and air-dried in the shade. Daily, 2 kg of cowpea haulm per animal was chopped and divided into two meals of equal size offered at 8:30 am and 2:30 pm. The animals had free access to water and did not receive any supplements. The daily feedstuff intakes were calculated by difference between the amounts offered and refused.

5.3.1.1 Digestibility: Sample Collection and Chemical Analyses

During the seven days of experimentation, 100 g feed samples were daily collected and pooled.

Refusals and faeces were weighed each morning before a new ration was distributed, and samples (100 g) were placed in labelled plastic bags, allowing individual identification of the animals, and stored at -20 °C. Composite samples of the collected material were dried at 60 °C to constant

weight in a ventilated oven, ground to pass a 1-mm screen (Wiley mill, Marconi, MA-580; Piracicaba, Brazil) and stored in sealed plastic containers for subsequent analyses. All samples were analysed for DM, ashes and crude protein (CP) using AOAC International methods. For feed and faeces, the contents of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent of lignin (ADL) and acid detergent fiber (ADF) were determined using the Van Soest method (Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G. 2004). Gross energy of the composite samples was determined using an adiabatic bomb calorimeter (Werke C2000, IKA; Staufen, Germany).

Table 6.1. Chemical composition of Cowpea fodder haulm (*Vigna unguiculata*), (Cowpea, var.58/74) used in the experiment

OM	CP	EE	CF	ADF	NDF	ADL	GE
(% DM)							(kcal/Kg DM)
76.9	15.0	2.60	11.4	38.6	55.3	5.40	3996

% DM = Percentage of dry matter; OM = organic matter; CP = crude protein; EE = ether extract; CF = crude fiber, ADF = acid detergent fiber; NDF = neutral detergent fiber; ADL = acid detergent of lignin; GE = gross energy.

5.3.1.2 Faecal microbial composition

➤ Faecal samples

Individual samples collected, were dried to constant weight in a ventilated oven, ground to pass a 1-mm screen (Wiley mill, Marconi, MA-580; Piracicaba, Brazil) and stored in sealed plastic containers until further DNA extraction

➤ DNA extraction and purification

Genomic DNA was extracted and purified from faecal samples using PSP@ Spin Stool DNA plus Kit (STRATEC Molecular GmnH, Germany) following the manufacturer's recommendations. The integrity of DNA was tested by 1% agarose gel electrophoresis.

DNA concentrations were measured by absorbance at 260 nm and its purity was estimated by determining the A260/A280 ratio with using Eppendorf BioSpectrometer® basic (Germany). Genomic DNAs were stored at -20 °C, and then transported to University of Liège (Belgium) for 16S ribosomal RNA (rRNA) sequencing.

➤ 16S rRNA gene library construction and sequencing

The 16S PCR libraries were generated for samples. PCR-amplification of the V1-V3 hypervariable region of bacterial 16S rRNA were performed using following primers (with Illumina

overhand adapters), forward (5'-GAGAGTTTGATYMTGGCTCAG-3') and reverse (5'-ACCGCGGCTGCTGGCAC-3'). Each PCR product was purified with Agencourt AMPure XP beads kit (Beckman Coulter, Pasadena, USA) and submitted to a second PCR round for indexing, using Nextera XT index primers 1 and 2. After purification, PCR products were quantified using Quant-IT PicoGreen (ThermoFisher Scientific, Waltham, USA) and diluted to 10 ng μL^{-1} . A final quantification, by qPCR, of each sample in the library was performed using KAPA SYBR® FAST qPCR Kit (KapaBiosystems, Wilmington, USA) before normalization, pooling and sequencing on a MiSeq sequencer using v3 reagents (ILLUMINA, USA). Positive control using DNA from 20 defined bacterial species and a negative control (from the PCR step) were included in sequencing run. Subsample datasets were used to assess alpha diversity using Reciprocal Simpson biodiversity index (diversity), Chao1 richness index (richness) and Simpson evenness index (evenness) at the genus level using MOTHUR.

-The α -diversity represents the richness of a community, i.e. the number of species composing this community. This diversity can be estimated with different indexes summarising global information:

-The "Chao" index represents the richness to which an estimated number of unobserved species is added. This estimate is not interpretable in our case, because of the use of filters, which introduce a bias.

-The 'Inverse-Simpson' (evenness) represents the inverse of the probability of having two randomly selected sequences belonging to the same Operational Taxonomic Unit (OUT), hence the probability that these two sequences do not belong to the same OTU. This analysis favours a fair distribution of abundant OTUs.

Beta diversity was assessed with MOTHUR using distance matrices based on Bray- Curtis dissimilarity index (a measure of community structure that considers shared OTUs and their relative abundances) and non-metric dimensional scaling, based upon the Bray-Curtis dissimilarity matrix was applied to visualize the biodiversity between the groups. AMOVA test with 100,000 permutations was performed to assess the diversity clustering of breed group with Bray – Curtis matrix using MOTHUR (A. P. Martin 2002). Ordination analysis and 3d plots were performed with Vegan, Vegan3d (Oksanen et al. 2018) and rgl(Adler and Murdoch 2017) packages in R (R Core 2008). All biosample raw reads of faecal samples have been deposited at the National Center for Biotechnology Information (NCBI) and are available under the Bioproject ID PRJNA428433.

5.3.2 Statistical analysis

Data on intake, digestibility parameters were analysed as means at group level using the PROC ANOVA 1 from SAS/STAT® software, SAS System for Windows Version 9.4 (SAS Institute

Inc. Cary, NC, USA) according to the following statistical model: $Y_i = \mu + \alpha_i + e_i$, where Y_i is the dependent variable, μ is the overall mean, α_i is the fixed effect of breed ($i = 1, 2$), and e_i is the residual error. The F-values were considered significant at $p < 0.05$ and tendencies were assumed at $0.05 < p < 0.10$. Data reported are LS means and standard error of mean.

Data for microbiota composition in the faecal samples, the statistical differences in bacterial diversity, bacterial richness and bacterial evenness between goat breed were performed using Kruskal-Wallis with Benjamini, Krieger and Yekutieli test (PRISM 7.0, Graph-Pad software) to control false discovery rate. Beta diversity (Bray-Curtis dissimilarity) was compared using Kruskal-Wallis with Bonferroni correction ($p \leq 0.003$). To compare statistical differences in bacterial community abundance between goat breed, a non-parametric ANOSIM was performed. The significant level used for statistical tests was 0.05.

5.4 Results

5.4.1 Intake and Apparent Digestibility

Results from DM, chemical component intake and apparent digestibility are shown in Table 6.2.

Expressed on live weight basis, feed DM intake tended to be lower ($p < 0.09$) in S than in M goats. When regard to metabolic weight, the value was significantly higher ($p < 0.05$) in M than in S goats. Although no significant differences were observed between the two breeds for DM and OM digestibility, near trend for differences in favour of Sbreed could be noted ($p = 0.1$).

Table 6.2. Dry matter, chemical component intake and apparent digestibility (%) in lactating goats from Majorera and Sahelian breeds fed cowpea fodder.

Goat Breed				
Chemical composition	Majorera	Sahel	SEM ⁽¹⁾	P-value
Intake (Kg /animal/d)				
DM	1.0	0.86	0.05	0.09
DM (g/ Kg ^{0.75})	92.7	70.2	5.22	0.01
OM	0.87	0.76	0.04	0.13
EE	0.04	0.03	0.002	0.09
CP	0.18	0.15	0.01	0.07
NDF	0.46	0.39	0.03	0.13

ADF	0.27	0.20	0.03	0.14
Apparent Digestibility (%)				
DM	58.5	64.5	2.41	0.1
OM	59.9	64.9	2.02	0.1
EE	61.3	71.6	4.79	0.15
CP	54.3	61.4	3.12	0.13
NDF	55.1	58.9	3.20	0.42
ADF	46.9	39.9	5.74	0.41

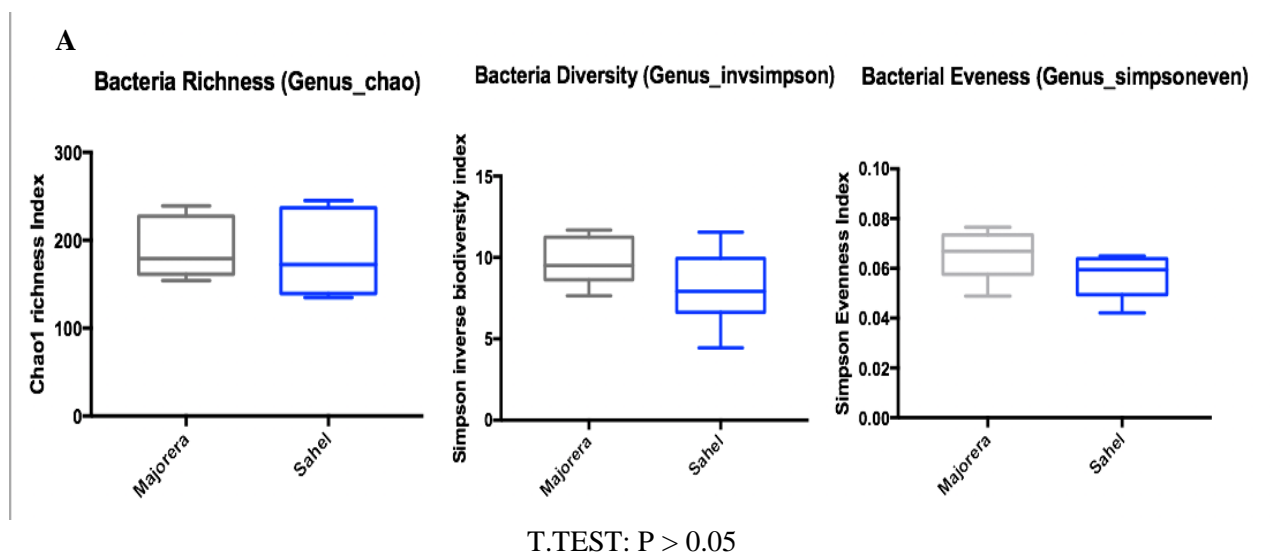
The significance effect were considered at $p < 0.05$; SEM: standard error of means; DM: dry matter; OM: organic matter; EE: ether extract; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

5.4.2 Faecal microbiota analysis by 16S rRNA profiling

The alpha diversity and beta diversity results as a function of breed M or S are represented as boxplots (Figure 6.1A) and Non-metric multidimensional scaling (NMDS) (figure 6.1B).

Regardless of the index of α -diversity (Figure 6.1A), no significant difference in microbiota composition was observed between the two breeds ($P > 0.05$). The β diversity of samples from the two groups of goat showed no difference ($P = 0.07$), when compared by AMOVA using the Bray-Curtis dissimilarity matrix (Figure 6.1 B).

Therefore, no breed effect was observed on the bacterial diversity of goat faeces as a whole.



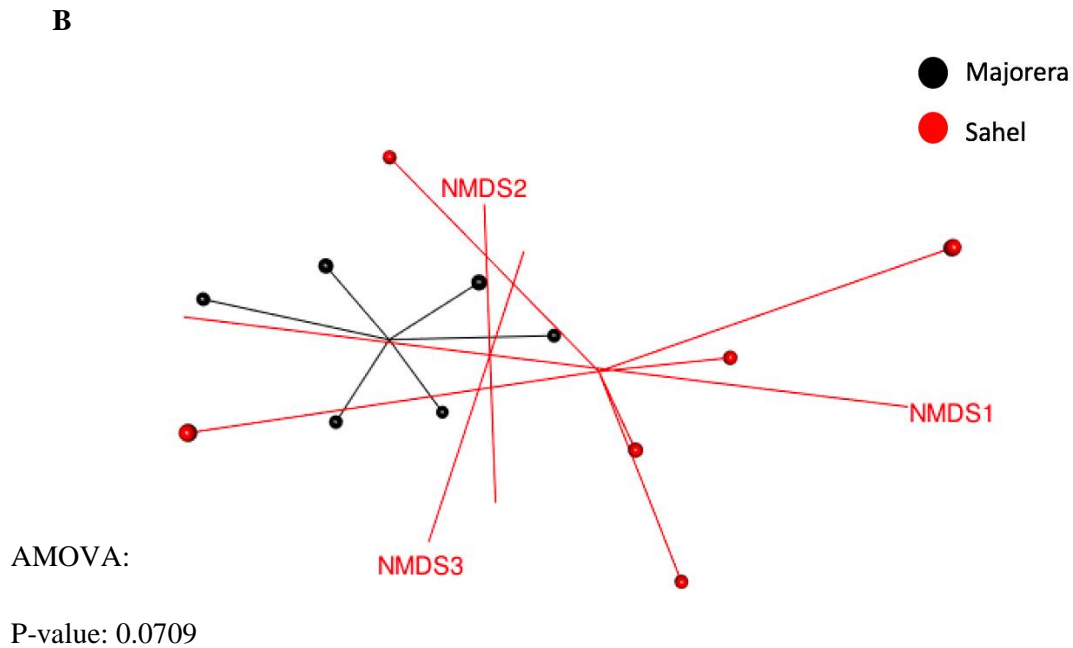


Figure 6.1. Structure of microbial communities from fecal samples composition of lactating goats from Majorera and Sahelian breeds fed cowpea fodder detected by 16S rRNA gene metagenetic analysis.

A: alpha diversity (Reciprocal Simpson biodiversity index), bacterial richness (Chao1 richness index) and bacterial evenness (Simpson evenness index).

B: non-metric dimensional scaling (3 axes; stress = 0.017) illustrating the samples based upon a Bray-Curtis dissimilarity matrix. Breed group centromeres are represented as center of spider webs; NMDS: Non-metric multidimensional scaling.

A total of 18 phyla were identified in both groups (Figure 6.2 A). Firmicutes were the predominant phyla, accounting for 94.4% of the total sequences, followed by Actinobacteria with 3.7% of the sequences. Bacteroidetes were the third largest group, representing 0.7% of the sequences. The other phyla: Proteobacteria, Verrucomicrobia, Tenericutes, Patescibacteria, Bacteria_ph, Cyanobacteria, Chloroflexi, Spirochaetae, Lentisphaerae, Kiritimatiellaeota, Epsilonbacteraeota, Planctomycetes, Elusimicrobia, Synergistetes, Fibrobacteres, were less abundant at less than 1%. No significant difference ($p > 0.05$) was found in the relative abundance of phyla microbiota when compared between goat breeds.

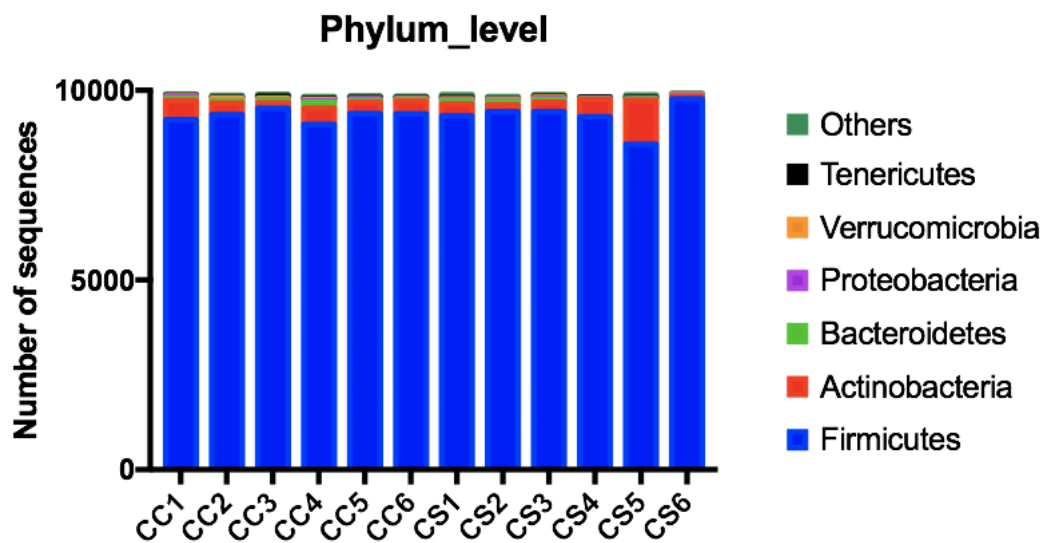
The relative abundances of communities at the order level are shown in Figure 6.2 B. Approximately 53 orders were identified in both breed groups. Bacillales and Lactobacillales were the two largest orders, representing 23.5% and 13.6% of the total for the Majorera breed, respectively, and

30.0 and 8.9% for the Sahelian breed. The relative abundances of the Lactobacillales, Erysipelotrichales, and Bifidobacteria orders were higher in Majorera than in Sahelian goats ($p \leq 0.05$), while the proportion of Elusimicrobials was lower in Majorera than in Sahelian goats ($p \leq 0.04$) (table 6.3).

The relative abundances of bacterial communities at the genus level are shown in Figure 6.2 C. Approximately 284 genera were identified in both breeds of goats, in which breed influenced eight genera of bacteria. *Bacillus* and *Atopostipes* were the two largest genera, accounting for 20.5 and 29.1% of the total in the Majorera breed and for 31.0 and 17.7% in the Sahelian breed, respectively. The proportion of *Atopostipes*, *Bifidobacteriaceae_ge*, *Defluviitaleaceae- CG-011*, *Enteractinococcus*, *Lachnospiraceae-UCG-008*, *Muribaculaceae_ge* and *Roseburia* genera was significantly higher in Majorera than in Sahelian ($p \leq 0.037$), while the proportion of *Bacillus* genus was significantly lower in Majorera than in Sahelian ($p = 0.045$) (Table 6.4).

No significant breed effect on bacterial diversity at the genus taxonomic level was observed (R-ANOSIM = 0.198; $P = 0.082$).

A



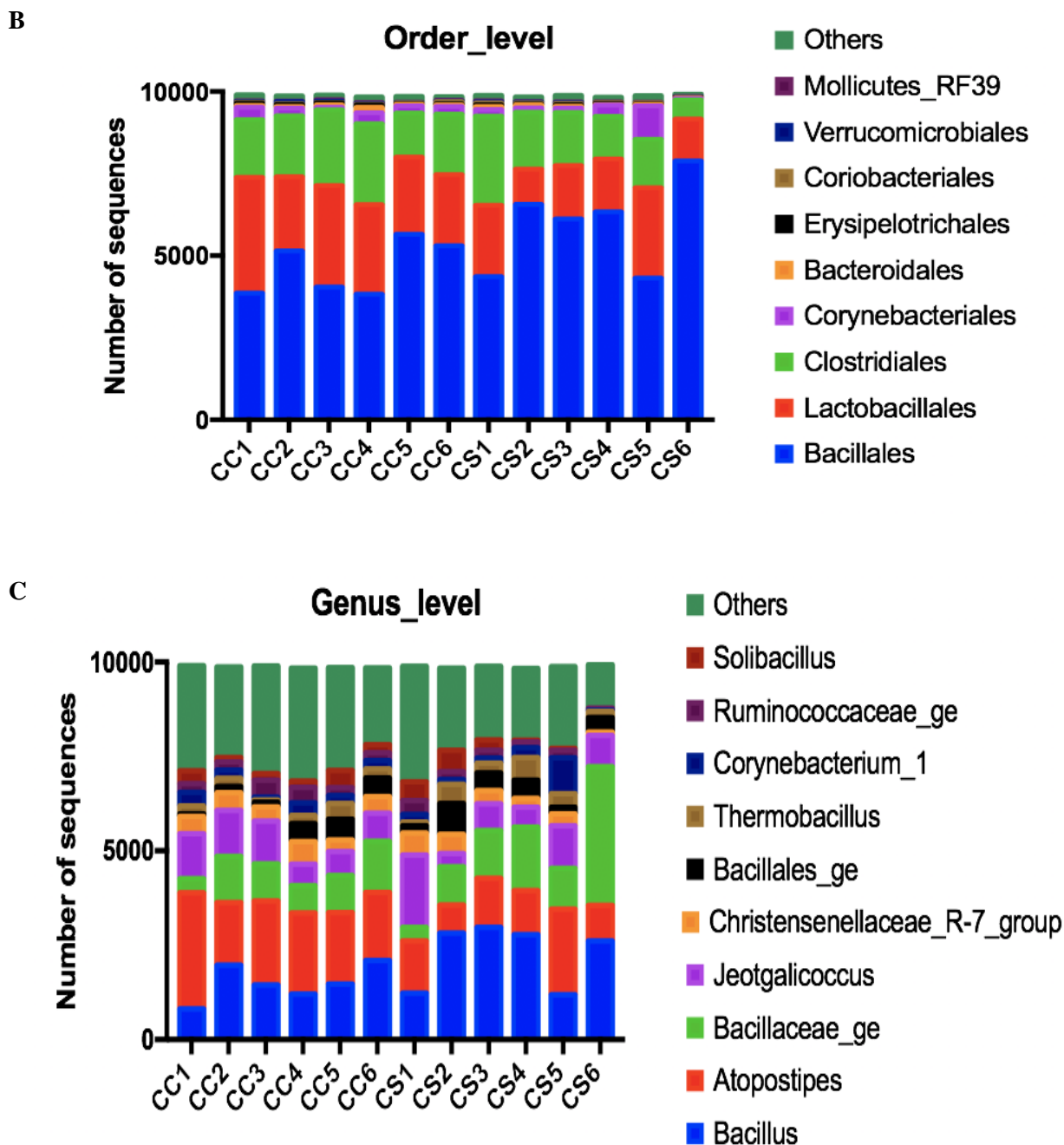


Figure 6.2. Cumulated relative population abundance of bacterial composition at the phylum (A), order (B) and genus (C) levels from faecal samples of lactating goats from Majorera and Sahelian breeds fed cowpea fodder detected by 16S rRNA gene profiling.

Legend: CC1 to CC6: Majorera goats and CS1 to CS6: Sahelian goats

Table 6.3. Relative abundance of microbial order in the faecal microbiota (percentage) of lactating goats from Majorera and Sahelian that were significantly affected by the breed groups, as determined by 16sRNA V1-V3 profiling

Order	Goat Breed		P-value
	Majorera	Sahelian	
Lactobacillales	13.6	8.9	0.02
Erysipelotrichales	0.3	0.2	0.01
Bifidobacteriales	0.00	0.00	0.05
Elusimicrobiales	0.00	0.00	0.04

The significance effect were considered at $p < 0.05$

Table 6.4. Relative abundance of microbial genera in the faecal microbiota (percentage) of lactating goats from Majorera and Sahelian that were significantly affected by the breed groups, as determined by 16sRNA V1-V3 profiling

Genus	Goat Breed		P-value
	Majorera	Sahelian	
Atopostipes	29.1	17.7	0.037
Bacillus	20.5	31.0	0.045
Bifidobacteriaceae_ge	0.1	0.00	0.005
Defluviitaleaceae_UCG-011	0.1	0.00	0.016
Enteractinococcus	0.3	0.00	0.009
Lachnospiraceae_UCG-008	0.1	0.00	0.024
Muribaculaceae_ge	0.1	0.00	0.02
Roseburia	0.1	0.00	0.003

The significance effect were considered at $p < 0.05$

5.4.3 Bacteria associated with digestibility parameters

In order to identify bacteria significantly associated with digestibility parameters, a linear regression between microbiota and NDF digestibility was performed. As a result, Bacillaceae family was significantly associated with the digestibility parameters ($R^2 = 0.83$; Figure 3).

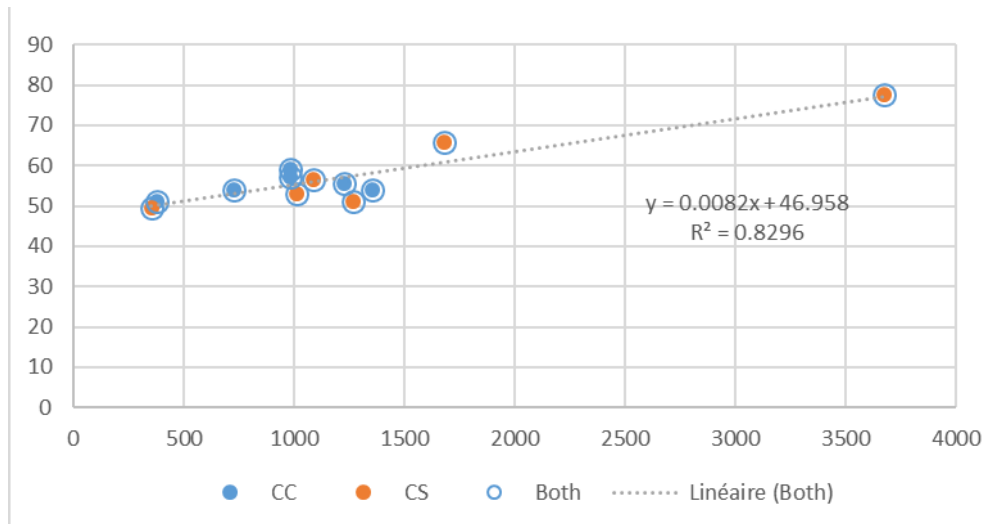


Figure 6.3. Linear regression between Bacillaceae genera and NDF digestibility

Legend: CC: Majorera goats and CS: Sahelian goats

5.5 Discussion

5.5.1 Intake and Apparent Digestibility of Nutrients

According to (Ramanzin et al. 2017) goats are selective ruminants. Indeed, they preferably feed on the most nutritious parts of plants (Vasta et al. 2008). This natural feeding behaviour could have influenced the results when compared to other ruminants, but not between the two studied breeds because in this experiment, the animals had access to high quality fodder and few refusals were observed. It is noteworthy that the fodder contained about 15% CP in DM, indicating the high nutritional value of the feedstuff (Falaye et al. 2015) and adequate availability of fermentable nitrogen in rumen. However, our results are lower than those (Romero-Huelva, Ramos-Morales, and Molina-Alcaide 2012; Ferreira and al., 2017) in dairy goats fed alfalfa, hay and concentrate or green hay and straw-based ration.

The results on the DM intake in relation to metabolic weight showed a greater ingestion capacity of M than S. According to (Ferreira and al., 2017), it is challenging to compare feed consumption values, as they are known to be influenced by factors such as animal characteristics, environmental conditions, management type and their interactions. In the context of this experiment, animal factors only differed between the two groups and should be considered. The higher metabolic DM intake in M goats is probably associated to the higher milk production observed in this group (0.37 ± 0.2 vs 0.15 ± 0.07 l/d).

Considering that in goats voluntary DM intake increase by 0.405 kg per litter of milk production (Nozière and Sauvant, 2018), the corrected DM intake for maintenance were close to 72 and 74 g per kg metabolic weight in M and S breeds, respectively. This is considered as close to the standard value obtained with good forage. Our results are similar to those of (Sangaré and Pandey

2000), who found an ingested DM of 64 and 93 g/kg^{0.75} in lactating S goats. As for DM and nutrient digestibility, our results are lower than those reported by (Romero-Huelva, Ramos-Morales, and Molina-Alcaide 2012; Jalali et al. 2012), except for the digestibility of NDF, which showed close values. There was no difference between the two breeds on digestibility of the different chemical constituents. However, trends in the differences in digestibility of DM and OM to the advantage of S goats could be observed ($p = 0.1$). Chewing and rumination time, salivation and rumen motility are among the factors influencing digestibility (Khan, Mahr-Un-Nisa, and Sarwar 2003), and the higher the intake, the lower the digestibility, which is explained by an increase in rumen transit time (Peyrat 2014).

5.5.2 Faecal bacterial community study

The Chao1 Richness, Simpson-Inverse and Simpson-Evenness indices of the alpha diversities and the Bray-Curtis dissimilarity matrix of the beta diversities, calculated from the sequencing data, did not identify any difference between the two breeds of goats. The relative abundance of phyla in the faecal microbiota was similar between the breeds. Ruminant feeding has a decisive role to play in the proportions of the different phyla. In the case of our study, since the animals were fed exclusively on fibre-rich fodder, Firmicutes were the most abundant, followed by Actinobacteria and Bacteroidetes, which is consistent with the literature describing that the higher fodder-rich rations result in a higher proportion of Firmicutes (Martin and Morgavi 2010; Huang, Li, and Luo 2017) with the same method, while the rations rich in concentrates favour Bacteroidetes and Proteobacteria. (Chen et al. 2011). Furthermore, our results can be explained by an influence of the quality of the food distributed, as shown in the study by (Wang et al. 2017) who observed on the ruminal microbiota of sheep, an increase in the proportion of Firmicutes when the rations were not sufficient to cover the needs of the animals (84 and 96% of the needs covered).

The sampling location can also have an impact on the bacteria proportions. Indeed, it is accepted that, while faeces sampling provides a partial representation of gastro-intestinal microbiota, it is not a strict reflection of it, as has been shown in humans and mice (Segata et al. 2012 ; Eloe-fadrosch and Rasko 2013). The Bacilli class which includes the orders Bacillales and Lactobacillales is the second class of Firmicutes represented in the rumen (Lettat et al. 2012; Wang et al. 2017) whereas in the framework of our study on faecal microbiota, the orders Bacillales and Lactobacillales occupy the first place. Michelland et al., 2012 found microbiotes of different compositions in two types of rabbit faeces (hard and caecotrophic). The composition of the faecal microbiota is probably closer to that of the distal digestive tract than to that of the rumen (Li et al. 2011) but the trends that were already apparent in the abomasum are found in the distal parts of the digestive tract (El-ashram et al. 2017; Mamun 2017). This could explain the difference in the bacterial composition of our results when compared to most studies on the ruminal microbiota. Our results show that the proportion of the genera *Atopostipes*, *Bifidobacteriaceae*_ge, *Defluviitaleaceae*-UCG-011, *Enteractinococcus*,

Lachnospiraceae-UCG-008, Muribaculaceae_{ge} and Roseburia was significantly greater in the Majorera than in the Sahelian ($p < 0.037$), while the proportion of the genus Bacillus was significantly lower in the Majorera than in the Sahelian ($p < 0.045$). The findings are consistent with the studies of (Rooke et al. 2014; Lescarret 2019) showing an influence of race on the composition of the rumen bacterial community.

5.5.3 Relationships between digestibility and faecal microbiota

A linear regression between a bacterial family microbiota and NDF digestibility worth to be considered. The most represented genera of the Bacillaceae family are fibrolytic bacteria, belonging to phyla of Firmicutes. They have the ability to degrade cellulolytic, hemicellulolytic or pectinic fibres, which is characteristic of the diet in our study. However, no breed effect has been observed either on digestibility parameters or on microbiota. Larue and al. 2005 reported that feeding is an essential factor influencing the microbiota of the digestive tract. In our results, feeding was similar, but individual microbiota variation could explain differences in nutrient digestibility. In addition, the sampling site in our study, which is the faces, could explain this low diversity of the microbial population, since the faces only imperfectly reflect the totality of the microbiota of the digestive tract, contrary to the rumen in ruminants.

5.6 Conclusion

In conclusion, Majorera and Sahelian goats were similar in terms of digestibility and faecal microbiota, despite a higher DM intake in the M goat. Greater diversity of the microbial population could be expected if the sampling site had been rumen, since faeces only imperfectly reflect overall microbiota of the digestive tract. Our results suggest an association between feed characteristics and microbiota in goat, dominated in our study by Firmicutes, phyla in general retrieved in forage-based diets.

Further studies were needed to highlight possible relationships between the profile microbiota and production performance of goats.

5.7 Acknowledgments

The author acknowledge the support of the Senegalese Institute of Agricultural Research (ISRA) and the nutrition office of Liège University in Belgium.

5.8 References

- Adler, D. and Duncan, M. 2017. Package “Rgl”: 3D Visualization Using OpenGL. R Package Version 0.98.1. <https://r-forge.r-project.org/projects/rgl/>.
- Dehority, B. A. And Grubb, J.A. 1976. “Basal Medium for the Selective Enumeration of Rumen Bacteria Utilizing Specific Energy Sources ’.” *Applied and environmental microbiology* 32 (5): 703–710.
- Benson, A.K., Kelly, S.A., Legge, R., Ma, F., Jen, S., J Kim, J., Zhang, M. and al. 2010. “Individuality in Gut Microbiota Composition is a Complex Polygenic Trait Shaped by Multiple Environmental and Host Genetic Factors.” *PNAS* 107 (44): 18933–18938. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007028107>.
- Cameron, A.G. 2003. “Agnote Forage and Grain Cowpeas.” 304p. Australia. <https://doi.org/ISSN0157-8243>.
- Chen, Y., Penner, G.B., Li, M., Oba, M. and Guan, L.L. 2011. “Changes in Bacterial Diversity Associated with Epithelial Tissue in the Beef Cow Rumen during the Transition to a High-Grain Diet.” *Applied and environmental microbiology* 77 (16): 5770–5781. <https://doi.org/10.1128/AEM.00375-11>.
- Chuzhao, L., Raskin, L., Stahl, D.A. 1997. “Microbial Community Structure in Gastrointestinal Tracts of Domestic Animals: Comparative Analyses Using RRNA-Targeted Oligonucleotide Probes.” *FEMS Microbiol Ecology* 22: 281–294.
- El-ashram, S., Nasr, I., Abouhajer, F. and El-kemary, M. 2017. “Microbial Community and Ovine Host Response Varies with Early and Late Stages of *Haemonchus contortus* Infection.” *Veterinarian Research Community* 41: 263–277. <https://doi.org/10.1007/s11259-017-9698-5>.
- Eloe-fadrosch, E.A. and Rasko, D.A. 2013. “The Human Microbiome: From Symbiosis to Pathogenesis.” *The Annual Review of Medicine* 64: 145–163. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-010312-133513>.
- Calenge, F., Martin, C., Le Floch, N., Phocas, F., Morgavi, D., Rogel-Gaillard, C., Quéré, P. 2014. “Intégrer la caractérisation du microbiote digestif dans le phénotypage de l’animal de rente : Vers un nouvel outil de maîtrise de la santé en élevage ?” *INRA Productions Animales*. 22 (3): 209–222. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2014.27.3.3068>.
- Falaye et al. 2015. “Growth performance and nutrient utilization of catfish *Clarias gariepinus* fed varying inclusion level of fermented unsieved.” *Continental J. Biological Sciences* 8 (1): 14–23. <https://doi.org/10.5707/cjbiolsci.2015.8.1.14.23>.
- Ferro, M.M., Tedeschi, L.O. and Atzori, A.S. 2017. “The Comparison of the lactation and milk yield and composition of selected breeds of Sheep.” *Transnational Animal Science* 1: 498–506. <https://doi.org/10.2527/tas2017.0056>.
- Huang, J., Li, Y. and Luo, Y. 2017. “Bacterial Community in the Rumen of Tibetan Sheep and Gansu Alpine Fine-Wool Sheep Grazing on the Qinghai-Tibetan Plateau , China.” *J.Gen. Appl. Microbiol.* 63: 122–1230. <https://doi.org/10.2323/jgam.2016.08.003>.
- Jalali, A.R., Nørgaard, P., Weisbjerg, M.R. and Nielsen, M.O. 2012. “Effect of Forage Quality on Intake, Chewing Activity, Faecal Particle Size Distribution, and Digestibility of Neutral Detergent Fibre in Sheep, Goats, and Llamas.” *Small Ruminant Research* 103 (2–3): 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.004>.
- Khan, M.A., Un-Nisa, M. and Sarwar, M. 2003. “Techniques Measuring Evaluation of Feeds Digestibility for the Nutritional Evaluation of Feeds.” *International Journal of Agriculture &*

Biology 5 (1): 91–94.

- Ferreira, L.M.M., Hervas, G., Belenguer, A., Celaya, R., Rodrigues, M.A.M., Garcia, U., Frutos, P. and Osoro, K. 2017. “Comparison of Feed Intake , Digestion and Rumen Function among Domestic Ruminant Species Grazing in Upland Vegetation Communities.” *Animal Physiology and Animal Nutrition* 101: 846–856. <https://doi.org/10.1111/jpn.12474>.
- Larue, R., Yu, Z., Parisi, V.A., Egan, A.R. and Morrison, M. 2005. “Novel Microbial Diversity Adherent to Plant Biomass in the Herbivore Gastrointestinal Tract , as Revealed by Ribosomal Intergenic Spacer Analysis and Rrs Gene Sequencing.” *Environmental Microbiology* 7 (4): 530–543. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2004.00721.x>.
- Lescarret, A.L. 2019. “Relation Entre Le Microbiote Ruminal et Le Parasitisme Gastro-Intestinal Chez 2 Lignées Divergentes de Moutons Résistante et Sensible Aux Strongles Digestifs.” *Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*. 116p.
- Lettat, A., Nozière, P., Silberberg, M., Morgavi, D.P., Berger, C. and Martin, C. 2012. “Rumen Microbial and Fermentation Characteristics Are Affected Differently by Bacterial Probiotic Supplementation during Induced Lactic and Subacute Acidosis in Sheep.” *BMC Microbiology* 12 (142): 1471–2180.
- Li, R.W., Wu, S., Li, W., Huang, Y., and Gasbarre, L.C. 2011. “Metagenome Plasticity of the Bovine Abomasal Microbiota in Immune Animals in Response to *Ostertagia ostertagi* Infection.” *PLoS ONE* 6 (9): 10p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024417>.
- Lu, C.D., Kawas, J.R. and Mahgoub, O.G. 2005. “Fibre Digestion and Utilization in Goats” *Small Ruminant Research* 60: 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.035>.
- Mamun, A. 2017. “Interactions between *Haemonchus Contortus* and the Gut Microbiota of Sheep.” *MONASH University*. 239p.
- Martin, A.P. 2002. “Phylogenetic Approaches for Describing and Comparing the Diversity of Microbial Communities.” *Applied and environmental microbiology* 68 (8): 3673–3682. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3673>.
- Michelland, R.J., Combes, S., Monteils, V., Bayourth, C., Cauquil, L., Enjalbert, F., Julien, C., Kimse, M., Troegeler-Meynadier, A., Zened, A., Gidenne, T. and Fortun- Lamo, L. 2012. “Analyse comparée des écosystèmes digestifs du rumen de la vache et du caecum du lapin.” *INRA Productions. Animales*. 25 (5): 395–406.
- Michelland, R.J., Monteils, V., Zened, A., Combes, S., Cauquil, L. and Gidenne, T. 2009. “Spatial and temporal variations of the bacterial community in the bovine digestive tract.” *Journal of Applied Microbiology* 107: 1642–1650. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04346.x>.
- Missohou, A., Nahimana, G., Ayssiwede, S.B., Sembene, M. 2016. “Elevage caprin en Afrique de l’Ouest : Une Synthèse.” *Revue d'élevage et de Medecine Veterinaire Des Pays Tropicaux* 69 (1): 3–18.
- Morgavi, D.P., Kelly, W.J., Janssen, P.H., Attwood, G.T. 2013. “La (Méta) Génomique des microorganismes du rumen et ses applications à la production des ruminants.” *INRA Productions Animales*. 26 (4): 347–362.
- Morgavi, D.P., Forano, E., Martin, C. and Newbold, C.J. 2010. “Microbial Ecosystem and Methanogenesis in Ruminants.” *Animal, The International Journal of Animal Biosciences* 4 (7): 1024–36. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000546>.

- Oksanen, J., Guillaume Blanchet, F., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., Mcglinn, D., Minchin, P.R. and al. 2018. *Vegan: Community Ecology Package*. R Package Version 2.5-3. <https://github.com/vegandevs/vegan/issues> URL. 298p.
- Nozière, P., Sauvant, D. and Delaby, L.. 2018. *INRA Feeding System for Ruminants*. Wageningen Academic Publishers. INRA, 2018. Wageningen, The Netherlands. 640p. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-872-8>.
- Hobson, P.N. and Stewart, C.S.. 1997. *The Rumen Microbial Ecosystem*. 740p.
- Peyrat, J. 2014. “Digestion de l’amidon et des parois végétales du maïs fourrager chez les ruminants : Conséquences sur l’évaluation de sa valeur nutritive.” Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II. Français. 286p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01163429>.
- Pitta, D.W., Indugu, N., Baker, L., Vecchiarelli, B. and Attwood, G. 2018. “Symposium Review : Understanding Diet – Microbe interactions to enhance Productivity of dairy cows.” *Journal of Dairy Science* 101 (8): 7661–7679. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13858>.
- Core, T.R. 2008. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vol. 2.6.2. Vienna, Austria. 2673p.
- Ramanzin, M., Aguado, M.A.P., Ferragina, A., Cassini, R. and Bittante, G. 2017. “Methodological Considerations for the Use of Faecal Nitrogen to Assess Diet Quality in Ungulates: The Alpine Ibex as a Case Study.” *Ecological Indicators* 82: 399–408. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.06.050>.
- Romero-Huelva, M., Ramos-Morales, E. and Molina-Alcaide, E. 2012. “Nutrient Utilization, Ruminant Fermentation, Microbial Abundances, and Milk Yield and Composition in Dairy Goats Fed Diets Including Tomato and Cucumber Waste Fruits.” *Journal of Dairy Science* 95 (10): 6015–6026. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5573>.
- Rooke, J.A., Wallace, R.J., Duthie, C., Mckain, N., De Souza, S.M., Hyslop, J.J., Ross, D.W., Waterhouse, T. and Roehe, R. 2014. “Hydrogen and Methane Emissions from Beef Cattle and Their Rumen Microbial Community Vary with Diet , Time after Feeding and Genotype.” *British Journal of Nutrition* 112: 398–407. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000932>.
- Sadet-Bourgeteau, S., Martin, C. and Morgavi, D.P. 2010. “Bacterial Diversity Dynamics in Rumen Epithelium of Wethers Fed Forage and Mixed Concentrate Forage Diets.” *Veterinary Microbiology* 146 (1–2): 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.04.029>.
- Sangaré, M. and Pandey, V.S. 2000. “Food Intake, Milk Production and Growth of Kids of Local, Multipurpose Goats Grazing on Dry Season Natural Sahelian Rangeland in Mali.” *Animal Science* 71 (1): 165–173. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054990>.
- Sauvant, D., Perez, J.M. and Tran, G. 2004. *Tables de Composition et de Valeur Nutritive Des Matières Premières Destinées Aux Animaux d’élevage (Porcs, Volailles, Ovins, Caprins, Lapins, Chevaux, Poissons)*. Edited by INRA Editions. Paris, France. 301p. <https://prodinra.inra.fr/record/73320>.
- Segata, N., Haake, S.H., Mannon, P., Lemon, K.P., Waldron, L., Gevers, D., Huttenhower, C. and Izard, J. 2012. “Composition of the Adult Digestive Tract Bacterial Microbiome Based on Seven Mouth Surfaces , Tonsils , Throat and Stool Samples.” *Genome Biology* 13 (6): 18p. <http://genomebiology.com/2012/13/6/R42>.
- Vasta, V., Nudda, A., Cannas, A., Lanza, M, and 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>.

- Wang, Y., Cao, P., Wang, L., Zhao, Z. and Chen, Y. 2017. “Bacterial Community Diversity Associated with Different Levels of Dietary Nutrition in the Rumen of Sheep.” *Appl Microbiol Biotechnol* 101: 3717–3728. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8144-5>.
- Zoetendal, E. and Mackie, R. 2014. *Molecular Methods in Microbial Ecology*. Edited by Gerald W. Tannock. Caister Academic Press. 1-25p.

Chapitre 6

Discussion générale

6 Discussion générale

6.1 Justification de l'intérêt de la thématique et de l'approche méthodologique

Les races caprines locales sont une ressource génétique importante pour l'amélioration des moyens de subsistance de millions de petits producteurs dans les pays en développement. Les chèvres locales sont limitées par une croissance lente, un faible poids de carcasse et une petite taille. Toutefois, elles possèdent des caractéristiques d'adaptation importantes, telles que la résistance aux maladies et à la chaleur, la tolérance à la rareté de l'eau et la capacité à valoriser une alimentation de mauvaise qualité. Ce sont ces caractéristiques qui leur permettent de survivre et de rester productives dans diverses conditions environnementales. Ces caractéristiques les classent parmi les animaux de premier choix pour les systèmes d'élevage de subsistance ruraux (Anderson 2003). Au Sénégal, l'essentiel des ressources animales est géré par l'élevage familial rural, avec une place importante accordée aux ruminants et à la chèvre en particulier. Par conséquent, pour sa gestion durable, il est de plus en plus nécessaire de comprendre son environnement de production ainsi que les races elles-mêmes, afin de mieux promouvoir son système d'élevage. La prise en compte des savoirs-faire locaux reste indéniable. Les difficultés surviennent en raison d'un nombre important de facteurs de natures diverses qui sont intimement liés à un système qui doit considérer la production caprine en fonction non seulement des ressources locales, de l'environnement biophysique, des conditions économiques mais aussi de l'humain comme acteur faisant partie intégrante du système avec ses considérations familiales, le contexte culturel et les règlements sociopolitiques des institutions en place. Comme le soutient (Peacock 2008), les producteurs dans les régions tropicales, sont davantage enclins à gérer l'alimentation de leur troupeau en fonction des ressources disponibles plutôt qu'en fonction des besoins alimentaires des animaux.

Ainsi, les études 1 et 2, ont permis de réaliser une typologie des systèmes d'élevage dans les zones d'études. Elles ont aussi permis de mieux comprendre l'environnement de production des chèvres à travers l'identification des pratiques d'affouragements et de logements et les objectifs d'élevage qui y sont associés. Ces études visent à répondre aux questions de recherche 1 et 2, respectivement :

- Quelle peut être la place réelle de l'élevage caprin dans le paysage agricole de la région de Fatick ?

- Face à une très forte dégradation aussi bien aux plans quantitatif que qualitatif des pâturages naturels, quelles sont les pratiques développées par les éleveurs dans la conduite de leur élevage caprin ?

Quant à la typologie, elle a montré l'existence d'un système pastoral à agropastoral dans la zone d'étude, pratiqué par trois groupes d'éleveurs et répartis selon la tradition (producteurs de lait et transformateurs de lait en lait caillé traditionnel, vente d'animaux pour les besoins du ménage), selon l'innovation dans la valorisation du lait (transformateurs de lait en yaourt et fromage) et/ou dans la

génétique. Cependant, les approches participatives ayant permis l'identification des pratiques d'affouragements et de logements et les objectifs d'élevage, elles ont révélé que d'autres considérations et enjeux sociaux peuvent entraver la pérennisation de l'élevage caprin, malgré l'importante place accordée par les producteurs aux champs fourragers, à la distribution de résidus agricoles et ligneux, et à l'usage de chèvreries.

Enfin pour répondre à la dernière question de recherche portant sur l'efficacité alimentaire, l'allocation des nutriments entre fonctions physiologiques de production et d'adaptation en milieu contraignant (études 3 et 4) des chèvres élevées au Sénégal, une étude sur l'efficacité d'utilisation digestive de l'azote et de l'énergie (étude 3), et une étude sur la caractérisation du microbiote fécal (étude 4) chez des chèvres de race Majorera (chèvre espagnol) et Sahélienne (race locale) ont été réalisées. Elles ont montré une bonne aptitude de la race locale bien qu'une plus faible production laitière.

Les résultats issus de cette thèse apportent donc un début de réponse sur les interventions à mener en matière d'amélioration des performances caprins par croisement éventuel avec une race exotique au Sénégal. Elle aborde à la fois des questions sur la zootechnie et la nutrition, sur les systèmes d'élevage et la génétique. L'étude se veut donc holistique dans la mesure du possible.

6.2 Limites de l'approche

Une première limite de l'étude a été de ne pas considérer certains paramètres zootechniques tels que la reproduction, la production individuelle de lait et le poids des animaux, mais également des paramètres économiques, car lors des enquêtes nous avons réalisé que la grande majorité des éleveurs ne possédait pas de cahier de troupeau et ne comptabilisait pas leurs recettes et dépenses. Nous nous sommes donc uniquement basés sur des informations qualitatives et sur des impressions générales des éleveurs, avec les risques de biais que cette approche suscite.

Une seconde limite se rapporte à la méthode utilisée, qui est une méthode « de bouche à oreille » ne ciblant que des éleveurs de l'association des éleveurs caprins. Les moyens à notre disposition n'ont en effet pas permis d'intégrer d'autres éleveurs hors de l'association. Il est néanmoins raisonnable de considérer que les résultats obtenus traduisent bien la réalité. En effet, ces enquêtes ont été principalement effectuées par l'auteur de cette thèse en langue locale. La stratégie visant à se faire introduire par une personne ressource locale et d'expliquer l'objet et l'intérêt de l'étude dans des focus groupes ont permis de créer une confiance avec les personnes interrogées et donc de les inciter à exprimer la réalité.

6.3 Nécessité d'approches participatives pour promouvoir un système d'élevage durable

Les approches participatives ont été proposées comme une stratégie viable pour définir des objectifs d'élevage réussis et durables pour le bétail dans les tropiques (Wurzinger et al. 2006); (Gizaw et al. 2018) ; (Simion Kipkemboi Omasaki 2017). Plusieurs programmes de valorisation des systèmes d'élevages, surtout basés sur l'amélioration des races locales dans les pays tropicaux en développement ont largement échoué en raison du manque de participation des principales parties prenantes aux programmes, à savoir les petits éleveurs comme l'élevage familial (Kosgey, Rowlands, van Arendonk, et al. 2008; Y. Camara et al. 2018). De tels exemples d'échec de programmes d'élevage sont nombreux dans beaucoup de pays d'Afrique subsaharienne. Les raisons de ces échecs sont notamment le manque d'infrastructures fonctionnelles pour soutenir les activités de sélection, et le manque d'implication et d'engagement des agriculteurs et autres acteurs clés dans les programmes d'amélioration des races (Wurzinger, Sölkner, and Iniguez 2011). C'est le cas des programmes gouvernementaux d'amélioration des races caprines, pour la production de viande chez les petits producteurs en Ouganda (Onzima 2014), en Ethiopie (Ayalew et al. 2003) et au Sénégal pour les races locales bovines (Y. Camara et al. 2018). Pour remédier aux lacunes découlant du manque d'implication des principales parties prenantes dans l'amélioration des systèmes d'élevage, des approches participatives ont été mises en œuvre dans les études 1 et 2 pour réaliser une typologie et identifier les pratiques et les objectifs d'élevage. Ces approches ont permis aux éleveurs d'exprimer et d'analyser leurs situations de production. Ce faisant, ils classent et hiérarchisent leurs ressources et examinent les opportunités et les contraintes en fonction de leur situation. L'implication des petits producteurs dans l'identification des pratiques et objectifs d'élevage garantit que leurs besoins et leurs intérêts sont pris en compte par le processus d'implémentation d'un système d'élevage caprin durable, augmentant la probabilité de mettre en œuvre avec succès un programme d'amélioration de la productivité de la race. Par exemple, grâce à des approches participatives, des objectifs d'élevage ont été définis dans le cadre de systèmes mixtes d'élevage et de pastoralisme pour les ovins (Gizaw et al. 2018), les chèvres laitières (Bett et al. 2009), les petits ruminants (Kosgey et al. 2008) et les programmes d'élevage du tilapia du Nil au Kenya (Simion Kipkemboi Omasaki 2017). Nos résultats provenant de l'étude 1 ont révélé que l'élevage caprin est pratiqué essentiellement par des femmes et que les hommes étaient tous des agropasteurs pratiquant un système mixte (agriculture-élevage). La majorité (93 %) complémentaient leurs animaux avec des sous-produits agricoles, des produits agroforestiers et des restes de cuisine. Selon la localité et les opportunités d'élevage, ils sont constitués (i) en producteurs traditionnels qui valorisent le lait en le transformant en lait caillé traditionnel et qui vendent des animaux pour les besoins du ménage, (ii) en producteurs innovateurs, transformant le lait en yaourt et en fromage ou en incorporant le lait de chèvre dans la production de savons, et (iii) en producteurs traditionnels non intéressés par la production de lait mais commercialisant des chèvres dans le cadre d'un système pastoral et agropastoral. L'incorporation du lait de chèvre dans le savon a permis à certaines éleveuses de diversifier

et d'intégrer d'avantage l'activité de traite dans leur quotidien, mais surtout d'améliorer leur revenu. Le savon fabriqué à base de lait de chèvre est un produit d'artisanat, composé d'huile d'arachide, de bicarbonate de soude et d'eau. Quelques gouttes d'huile essentielle de lavande, produit importé, sont éventuellement ajoutées pour la finesse de l'odorat. La demande locale est grande, le savon étant un produit d'utilité primaire aux vertus sanitaires, notamment pendant l'hivernage. GILLEROT A. 2018 rapporte que les marges brutes des produits laitiers caprins (yaourt, fromage, et savon, etc.) issus de la transformation d'un (1) litre de lait de chèvre varient grandement. Le savon est le produit présentant la marge brute la plus élevée. Avec un litre de lait, on peut faire 36 pièces à 250 FCFA l'unité, contrairement au yaourt qui donne un litre à 1000 FCFA et le fromage qui ne peut donner que deux pièces de 100 g de crottin à 1000 FCFA l'unité. Ce qui est une opportunité pour les transformatrices individuelles recevant de petites quantités de lait.

En outre l'étude 2, a permis aux éleveurs d'identifier des leviers clés pouvant les aider à réussir leur élevage de manière durable. Ainsi un diagnostic plus approfondi des pratiques d'alimentation et de logements des chèvres a été effectué à travers des réunions de focus groupe. Nos résultats qui montrent une volonté des éleveurs de se tourner davantage vers une alimentation à base de cultures fourragères et un logement en chèvrerie, afin d'augmenter les rendements de production, sont cohérents avec les résultats d'études précédentes (Camara, Dieng, and Mergeai 2018).

Les arguments avancé pour mettre en place ces deux pratiques - le logement en chèvrerie et l'alimentation à base de cultures fourragères - convergent et reflètent une volonté des éleveurs de « stabiliser » leurs chèvres durant l'année, dans une chèvrerie proche de la maison. Les raisons principales sont la protection de leur capital. D'abord contre les intempéries et en particulier les précipitations importantes lors de la saison des pluies, qui favorisent le développement de maladies et la mortalité en particulier chez les jeunes. La stabulation partielle ou permanente est aussi associée à une meilleure sécurité, limitant les vols de bétail, fréquents et la prédation par les chiens errants. Les résultats de cette étude révèlent également que l'insuffisance des connaissances en matière de traitement et de conservation des résidus de récolte, l'itinéraire de production fourragère, ainsi que les besoins de construction d'étables constituent les limites majeures à l'atteinte des objectifs des éleveurs. Parmi les autres limitations, figurent la difficulté du transport du fourrage qui reste encombrant, la variabilité de la production saisonnière, la disponibilité et/ou le coût de la main-d'œuvre et les difficultés de stockage de la matière première. En outre, la méfiance dans l'appropriation du paquet technologique des ONG depuis quelques années, peut s'expliquer d'une part par des infrastructures proposées peu modulaires et peu en adéquation avec les pratiques culturelles des éleveurs. Les changements de paradigmes ne s'opèrent pas en peu de temps. D'autres facteurs socio-culturels sont probablement entrés en jeu, dont les coûts d'entretien des locaux, les conflits entre éleveurs, etc.

Des résultats similaires ont été rapportés par (Chalchissa 2018) qui ont cité le manque de connaissances et de capital des éleveurs, par (Kassa et al. 2016) rapportant le coût élevé de la main-d'œuvre, par (Mapiye, Mwale, and Mupeta 2006) relatant la faible valeur nutritive des fourrages et par (Karangiya and Savsani 2016) quant à la difficulté dans le transport des fourrages car les résidus de culture sont volumineux et peu denses.

Par conséquent, pour développer un programme d'élevage réussi de chèvres pour les petits producteurs aux ressources limitées, il est nécessaire de définir clairement les caractéristiques et/ou les objectifs de l'élevage qui sont préférés par les éleveurs. En général, dans des conditions tropicales les races locales ont tendance à présenter une plus grande capacité de survie et de meilleures performances que les races exotiques et leurs croisements. Ainsi elles valorisent mieux les ressources pastorales et sylvopastorales. Ce qui concourt au maintien de la biodiversité (Collier et al. 2008, Baumgard and Rhoads 2012). Ces derniers suggèrent que les différences peuvent être dues à l'incapacité de gènes de résistance ou de production des races exotiques à s'exprimer dans des conditions tropicales. Des études de terrain ont montré que les races locales étaient majoritairement élevées par les petits producteurs dans les systèmes de production à faible niveau d'intrants (Etude 1). Les raisons de cette préférence des producteurs incluent les avantages inhérents aux races locales, tels que les capacités de résistance aux maladies, de tolérance à la chaleur et de capacité à utiliser des aliments de faible qualité. En effet, les petits producteurs sont peu enclins à prendre des risques et se spécialisent rarement dans un seul type de production. Toutefois, les influences externes ne suffisent pas à expliquer l'innovation. Les innovations exogènes impliquent, en effet, des adaptations locales qui constituent une innovation endogène réactive mais ne sont pas identifiées comme telles par les éleveurs. Souvent, les innovations introduites sont simplifiées par les éleveurs quelle que soit leur origine, pour les adapter à leurs pratiques, leur budget et leur environnement (Vall et al. 2012).

6.4 Ingestion et digestibilité apparente des nutriments

L'ingestibilité d'un fourrage est une caractéristique propre à l'aliment lui-même, qui traduit son aptitude à être volontairement ingéré en quantité plus ou moins importante (Archimède et al. 2011). Elle dépend de la capacité d'ingestion (CI) ou appétit de l'animal, qui est la quantité d'aliment qu'il peut ingérer. Cette dernière est propre à chaque animal et varie suivant la race, le sexe, l'état physiologique (gestation, lactation, engraissement, entretien, etc.) et les conditions de milieu dans lequel il vit (Lhoste et al. 1993).

Les chèvres ont des caractéristiques spécifiques, telles que des lèvres et une langue mobiles et bien développées, leur permettant de récolter des herbes courtes, ou encore des fourches et la bipédie provisoire leur donnant accès aux arbustes épineux et même aux différents étages des arbres lorsque la structure des branches le permet, maximisant ainsi l'accès au pâturage aérien disponible dans une zone donnée. Il est ainsi démontré que la préférence pour une alimentation de haut niveau liée à l'alimentation à hauteur des yeux est bénéfique pour la réduction du risque d'infection par les œufs de

parasites trouvés sur la végétation de surface (Sanon 2007). Le comportement alimentaire naturel de la chèvre n'est pas négligeable, car selon (Ramanzin et al. 2017) ces animaux sont des ruminants plus sélectifs. Elles se nourrissent de préférence des parties les plus nutritives des plantes (Vasta et al. 2008; Nielsen et al. 2014). Dans l'étude 3, les animaux ont eu accès à un fourrage de haute qualité et peu de refus ont été observés. Il est à noter que le fourrage (légumineuse) contenait environ 15% de protéines brutes en matière sèche (MS), ce qui indique la valeur nutritionnelle élevée de l'aliment (Falaye et al. 2015) et la disponibilité adéquate d'azote fermentable dans le rumen. Nos résultats sont inférieurs à ceux issus de chèvres laitières nourries à la luzerne, au foin et au concentré ou des ruminants (chèvres, moutons et lamas) nourris avec une ration de foin vert et de paille (Romero-Huelva, Ramos-Morales, and Molina-Alcaide 2012; Jalali et al. 2012).

Les résultats sur la consommation de MS par rapport au poids métabolique ont montré une plus grande capacité d'ingestion des chèvres Majorera que celles du Sahel. Les refus représentaient 52,4% et 45,5% de l'aliment offert pour les chèvres du sahel et majorera, respectivement. Aucune différence statistique significative n'a été observé entre les races de chèvres. Ainsi l'écart numérique pourrait – si besoin - être expliqué par le mode de conduite des deux groupes avant l'expérimentation. Les sahéliennes proviennent des élevages qui pratiquent un mode extensif alors que les majorera sont élevées en station. Cependant les sahéliennes, pendant leur quarantaine, ont séjourné dans les mêmes locaux et été nourries dans les mêmes conditions que les majorera pendant plus d'un mois avant le démarrage de l'expérimentation. Donc nous pouvons avancer que l'effet comportement alimentaire a peut-être pu influencer le niveau de refus. Selon Ferreira et al. (2017), il est difficile de comparer les valeurs de consommation d'aliments, car on sait qu'elles sont influencées par les facteurs cités ci-dessus. Dans le cadre de cette expérience, seuls les facteurs animaux diffèrent d'un groupe à l'autre et doivent être pris en compte. L'ingestion plus élevée de MS chez les chèvres allochtones est probablement associé à la production laitière plus élevée observée dans ce groupe ($0,37 \pm 0,2$ contre $0,15 \pm 0,07$ l). Si l'on considère que chez les chèvres l'apport en MS augmente de 0,405 kg par litre de production laitière (Nozière et al. 2016), l'apport corrigé en MS pour l'entretien était proche de 72 et 74 g par kg de poids métabolique chez les chèvres Majorera et Sahélienne, respectivement. Cette valeur est considérée comme proche de la valeur standard obtenue avec un bon fourrage. Nos résultats sont similaires à ceux de (Sangaré and Pandey 2000), qui a trouvé une MS ingérée de 64 et 93 g/kg^{0,75} chez des chèvres Sahélienne en lactation.

La digestibilité est le pourcentage de l'aliment disponible pour l'organisme (sous forme de nutriments) après la digestion enzymatique et microbienne. La digestibilité est l'un des paramètres indispensables permettant d'apprécier la valeur alimentaire des fourrages pour les ruminants (Fanchone, Archimede, and Boval 2009). Des différences importantes de niveau d'ingestion sont observées entre les espèces. Chez le mouton, la digestibilité de la matière organique (dMO) des fourrages verts varie entre 55 et 85% (Dulphy et al. 1999). Elle diminue lorsque le fourrage vieillit et que la teneur en cellulose brute augmente. Chez les caprins, pour les 128 comparaisons récapitulées

par (Dulphy, Martin-Rosset, and Jouany 1995), la dMO n'est supérieure à celle des ovins que de 1,1% en moyenne. Dans le cadre de cette étude, nos résultats sont inférieurs à ceux de (Romero-Huelva, Ramos-Morales, and Molina-Alcaide 2012; Jalali et al. 2012) en ce qui concerne la digestibilité de la MS et des nutriments, à l'exception de la digestibilité de la fibre détergent neutre (NDF), dont les valeurs sont proches à celles de ces derniers auteurs. Nous n'avons pas observé de différence entre les deux races en ce qui concerne la digestibilité des constituants chimiques (Sabia et al. 2015). Cependant, des tendances dans les différences de digestibilité de la MS et de la MO à l'avantage des chèvres Sahélienne ont pu être observées ($p \leq 0,1$). Le temps de mastication et de rumination, la salivation et la motilité du rumen font partie des facteurs influençant la digestibilité (Khan, Mahr-Un-Nisa, and Sarwar 2003), et plus l'apport de matière sèche est élevé, plus la digestibilité est faible, ce qui s'explique par une diminution du temps de transit dans le rumen (Peyrat 2014). La race ne semble avoir que peu d'influence sur la digestibilité. Selon Doreau et al. (2020), des expériences montrent des coefficients de digestibilité plus élevés chez les taurins que chez les zébus. Mais le nombre d'observations est encore faible.

6.5 Utilisation digestive de l'énergie et de l'azote

Malgré des différences très significatives ($p < 0,05$) en faveur des chèvres Majorera sur la production d'énergie fécale et de méthane (par calcul), et une différence correspondante hautement significative ($p < 0,01$) dans l'ingestion d'énergie métabolisable (EM), les différents coefficients de transformation énergétique ont montré en particulier une proportion plus élevée d'énergie perdue sous forme d'urine chez les chèvres autochtones. Ceci est probablement dû à une moins bonne valorisation des acides aminés associée à une plus faible production laitière plus élevée dans le groupe de chèvres Sahélienne. Cependant, les valeurs de l'efficacité de l'utilisation de l'énergie pour la lactation et l'entretien (k_{lm}) calculées étaient similaires - 0,6 - pour les deux groupes de chèvres. Nos résultats sur l'efficacité énergétique sont inférieurs à ceux trouvés par (Nsahlaï et al. 2004) ; (Sauvant et al. 2012) (0,67 et 0,695, respectivement). Selon Piñeiro-Vázquez et al. (2017), dans des conditions tropicales, les ruminants sont généralement nourris avec des fourrages à faible teneur en protéines, à forte teneur en NDF, à faible digestibilité de la MS et faible concentration en EM. Ces facteurs se traduisent par une utilisation moindre de l'EM, car la digestion des MS entraîne une perte plus importante d'énergie sous forme d'extra-chaueur. Dans le cadre de cette expérience, les aliments proposés pourraient être considérés, avec une digestibilité de l'énergie brute de près de 70 %, comme de très bonne qualité, ce qui a probablement réduit la production d'extra-chaueur. Selon la race, nos résultats ont montré une supériorité ($p < 0,01$) en faveur des chèvres Majorera par rapport aux chèvres Sahélienne en ce qui concerne l'apport d'énergie métabolisable (EM, kcal/jour/kg^{0,75}), les premières montrant des valeurs 35% plus élevées que les secondes. En supposant une valeur similaire de k_{lm} , et en considérant l'énergie nette de lactation obtenue dans les deux races de cette expérience, les apports respectifs d'EM d'entretien par kg de poids métabolique étaient de 151 et 115 kcal, soit 32 % plus élevés chez les animaux challenge par rapport aux locaux. Ces résultats corroborent ceux de (Nsahlaï et al. 2004), qui

ont trouvé des besoins d'énergie métabolisable d'entretien 8 % plus élevée chez les chèvres laitières par rapport aux chèvres locales. Selon (Félix-Bernal et al. 2016), plusieurs facteurs influencent les besoins énergétiques d'entretien, tels que la race, le sexe, l'âge, les conditions environnementales et l'activité. Les valeurs de besoins en EM et probablement aussi en EN pour l'entretien des chèvres locales sont inférieures à celles obtenues chez les races exotiques telles que Saanen et Boer, qui sont plus spécialisées dans la production de lait ou de viande (Nsahlai et al. 2004). Nos résultats confirment ceux obtenus par (Vasta et al. 2008), mais sont similaires à ceux de (Romero-Huelva, Ramos-Morales, and Molina-Alcaide 2012).

L'azote ingéré, fécal et du lait par rapport au poids métabolique, étaient significativement plus élevés ($p < 0,05$) chez les chèvres Majorera que chez les chèvres locales, mais les pertes d'azote urinaire étaient très similaires. La digestibilité de l'azote numériquement plus élevée dans le groupe des chèvres Sahélienne peut difficilement être discuté bien qu'elle puisse être associée à une consommation d'aliments et d'azote plus faible dans ce groupe. Selon (Sauvant et al. 2012), en raison des mécanismes de l'homéostasie de l'azote, l'excrétion fécale et urinaire de l'azote est étroitement liée à l'apport d'azote chez les ruminants. Cependant, la similitude de l'azote urinaire observé dans cette expérience suggère que l'azote a été mieux converti en azote du lait dans le groupe des chèvres Majorera, qui étaient deux fois plus efficaces pour transférer l'azote dans le lait. Ce phénomène pourrait être dû à un besoin d'entretien plus faible en protéines, mais cette hypothèse doit être confirmée. Pour les deux races, l'azote retenu était proche de zéro mais négatif (c'est-à-dire que de plus grandes quantités d'azote étaient excrétées dans les fèces et l'urine que celles ingérées avec l'alimentation). Cela suggère que, bien que le poids des animaux soit resté constant pendant l'expérience, des modifications des compartiments corporels ont pu se produire. Les conclusions de cette étude doivent donc être confirmées avec soin.

6.6 Communauté de bactéries fécales et races

La caractérisation des communautés microbiennes et la compréhension du fonctionnement des écosystèmes digestifs représentent un enjeu considérable d'un point de vue scientifique mais aussi d'un point de vue pratique (agronomique, médical et environnemental).

La perspective d'une maîtrise et d'une orientation du microbiote vers une meilleure efficacité digestive permettrait de mieux valoriser les ressources alimentaires et assurerait une meilleure rentabilité économique des systèmes d'élevage. Une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes digestifs chez les animaux de rente permettrait de proposer des stratégies d'alimentation ou d'élevage limitant l'apparition des pathologies digestives.

D'un point de vue environnemental, les fermentations digestives des animaux d'élevage engendrent une importante production de méthane, puissant gaz à effet de serre. L'orientation métabolique du microbiote vers d'autres voies d'hydrogénéotrophie comme l'acétogénèse réductrice

permettrait de diminuer ces émissions de méthane. Il a été montré sur la souris (Benson et al. 2010) que le microbiote digestif était constitué d'un écosystème polygénique complexe, influencé par des combinaisons entre facteurs environnementaux et génétiques de l'hôte. Chez l'Homme, le rôle de la génétique de l'hôte dans le contrôle de la composition du microbiote intestinal a été établi (Calenge, Phocas, and Morgavi 2014). Chez les animaux de production monogastriques, le rôle du génome de l'hôte dans la structure du microbiote intestinal a été mis en évidence chez des poulets sélectionnés pour leur poids (Lescarret 2019). Chez les ruminants, aucun lien direct n'a été démontré actuellement, néanmoins des études montrent par exemple que la composition de la communauté bactérienne du rumen dépend de la race (Rooke et al. 2014). Ainsi, une approche moléculaire fondée sur l'analyse du gène de l'ARNr 16S a été utilisée, lors de l'étude 4, pour évaluer et décrire la dynamique de la composition du microbiote fécal des chèvres. Les résultats de cette étude révèlent que les analyses indices de diversités alpha et la matrice de dissimilarité Bray-Curtis des diversités bêta, calculés à partir des données de séquençage, n'ont pas permis d'identifier de différence entre les deux races de chèvres. L'abondance relative des phyla dans le microbiote fécal était similaire entre les races. L'alimentation des ruminants a un rôle décisif à jouer dans les proportions des différents phyla. Dans le cas de notre étude, comme les animaux étaient nourris exclusivement de fourrages riches en fibres, les Firmicutes étaient les plus abondants, suivis des Actinobactéries et des Bactériodetes, ce qui est conforme à la littérature décrivant que les rations riches en fourrage donnent une proportion plus élevée de Firmicutes (Martin and Morgavi 2010) ; (Huang, Li, and Luo 2017) , tandis que les rations riches en concentrés favorisent les Bactériodontes et les Protéobactéries. (Chen et al. 2011). Le régime ruminal est adapté à la fermentation de nutriments directement liés à l'ingestion de l'animal tandis que celui du colon fermente plutôt les résidus de fermentation et de digestion de ces aliments. Néanmoins il existe une bonne corrélation entre les deux types de flores. Le caractère herbivore des ruminants l'explique sans doute en partie (Pitta et al. 2018 et Mao et al. 2015).

Par ailleurs, nos résultats s'expliquent par une influence de la qualité de l'alimentation distribuée, comme le montre l'étude de Wang et al. 2017 qui a observé sur le microbiote ruminal des moutons, une augmentation de la proportion de Firmicutes lorsque les rations ne suffisaient pas à couvrir les besoins des animaux (soit 84 et 96% des besoins couverts). Le régime offert semble favoriser des bactéries spécifiques du côlon dans la dégradation des fibres alimentaires et des aliments indigestibles apportant une énergie supplémentaire dense.

6.7 Relation entre la digestibilité et le microbiote fécal

La régression linéaire entre le microbiote d'une famille de bactéries et la digestibilité des NDF mérite d'être discutée. Les genres les plus représentés de la famille des Bacillaceae sont des bactéries fibrolytiques, appartenant au phyla de Firmicutes. Elles ont la capacité de dégrader les fibres cellulolytiques, hémicellulolytiques ou pectiniques, abondantes dans le régime alimentaire de notre étude. Cependant, aucun effet de la race n'a été observé, ni sur les paramètres de digestibilité, ni sur le

microbiote. Larue et al. 2005 ont rapporté que l'alimentation est un facteur essentiel influençant le microbiote du tube digestif.

Il est probable que les rations plus riches en NDF se caractérisent par une plus grande proportion de fibres dans l'intestin, une fois les fermentations ruminales et la digestion grêle réalisées (Pitta et al. 2018 et Mao et al. 2015) De telle ration renforcent probablement la présence d'une flore fibrolytique dans le gros intestin. Les relations entre teneurs en fibres (dont NDF) et la structure des communautés microbiennes du tube digestif sont très étudiées depuis l'avènement de la méta-génomique. Néanmoins, il y a très peu de littérature précisant l'impact du microbiote sur la contribution du colon à la digestibilité du NDF. Notamment, on peut citer Jiao, J. et al. 2013.

Dans nos résultats, l'alimentation était similaire, mais la variation individuelle du microbiote pourrait expliquer les différences de digestibilité des nutriments. Selon Touitou (2019), la complexité de l'écosystème ruminal et des interactions entre les différents microorganismes, entre les microorganismes et l'hôte, ou entre les microorganismes et certains paramètres « externes » tels que l'alimentation ou le parasitisme rend encore aujourd'hui assez difficile de définir ce qu'est un bon microbiote, ou même un microbiote sain. En outre, il faut rappeler que le site d'échantillonnage de notre étude, à savoir les fèces, pourrait expliquer cette faible diversité de la population microbienne, puisque les fèces ne reflètent qu'imparfaitement la totalité du microbiote du tube digestif, contrairement au rumen chez les ruminants (Michelland et al. 2009).

6.8 Relation entre les résultats expérimentaux et les approches participatives de notre étude

Les études participatives ont révélé que le système d'élevage traditionnel basé sur l'utilisation des pâturages naturels comme ressources alimentaires et la divagation, constitue le système le plus répandu en élevage caprin au Sénégal. La dimension sociale de l'innovation technique sur l'accès au foncier trouve son importance dans la complexité des processus de prise de décision et de propriété au sein des exploitations agricoles. Le principal enjeu retenu ici est l'accès au foncier car sa mise en valeur est tributaire de l'acceptation et de l'intégration du chef d'exploitation, propriétaire coutumier du foncier (GILLEROT A. 2018). Bien que des innovations en matière de logements, de production de fourrages et de valorisation du lait de chèvre en divers produits laitiers (yaourt, fromage, savons) aient considérablement augmenté dans certaines localités, elles sont soumises à divers facteurs qui limitent leur développement. Parmi ces facteurs, les principaux sont les problèmes de conduite alimentaire des chèvres et les connaissances limitées des éleveurs sur l'amélioration des systèmes de production. Ainsi, un des problèmes à résoudre serait de savoir comment améliorer l'efficacité de la recherche sur la nutrition des chèvres et le transfert technologique dans nos régions où l'élevage caprin est souvent lié aux zones les plus pauvres. Une des solutions constitue l'objet de notre étude sur l'identification des pratiques des éleveurs et les voies d'amélioration, qui a fait ressortir la perception des éleveurs sur leurs activités traditionnelles mais sur les innovations implémentées avec les partenaires. Et il a été

retenu par les éleveurs que l'association à l'exploitation des pâturages naturels à une production et stockage de fourrages de qualité pour la complémentation des chèvres logés dans des habitats adaptés, via l'intégration agriculture-élevage, est une voie d'amélioration de la productivité des chèvres. En outre l'étude sur l'efficacité alimentaire des chèvres autochtones et allochtones, basée sur un fourrage retenu par les éleveurs a montré une bonne utilisation digestive des deux races en matière de digestibilité. Ce qui laisse supposer que la race locale conduit dans un bon environnement pourrait présenter une meilleure productivité comme chez les races exotiques dans leur milieu naturel. Ainsi on pourrait comprendre des différentes études, qu'il est essentiel de prendre en compte les éleveurs de chèvres et les responsables du développement caprin dans la phase de planification, mais aussi les utilisateurs finaux des produits (consommateurs) pour faire correspondre les programmes expérimentaux à la demande des utilisateurs.

Pour un développement durable ayant pour objectif de répondre à la demande croissante de produits caprins, une large intensification des politiques de production caprine doit être mise en œuvre. De plus, un programme nutritionnel pour les chèvres doit toujours être établi en tenant compte des caractéristiques génétiques de la race ou du génotype utilisé (potentiel de production, capacité d'adaptation, etc.). Dans nos régions, un plus grand nombre d'études sont consacrés à l'évaluation de la valeur nutritive des aliments qu'à l'utilisation des nutriments digérés chez les chèvres pour la production de lait ou de viande et à la variation de cette utilisation métabolique. Certaines caractéristiques physiologiques spécifiques des petits ruminants et en particulier des chèvres, telles que la forte prolificité, la courte durée de gestation, la composition du lait et le gain de poids vif, ainsi que la capacité d'adaptation à diverses conditions agro climatiques peuvent modifier l'utilisation alimentaire. Un transfert technologique réussi implique d'informer les utilisateurs finaux de toutes les conséquences et des risques (risque accru d'acidose avec les régimes à haute énergie par exemple). Aussi la production de données de référence sur le microbiote d'animaux dans nos différents pays présente également un intérêt pour le développement futur d'approches liées au microbiote comme la résilience face aux changements climatiques, l'identification de souches microbiennes remarquable, etc.

Ce travail fait ressortir les avancées mal connues sur le plan organisationnel des acteurs du secteur caprin dans la région de Fatick, Sénégal, mais surtout les initiatives de collaboration, en plus des acteurs du développement, avec la recherche, ce qui est susceptible de faciliter l'assise d'un programme plus objectif pour un élevage caprin durable. D'autre part, l'étude du métabolisme digestif des ruminants manque cruellement dans les régions tropicales. Très peu d'études ont été aussi loin dans le découpage de la transformation de l'énergie et de l'azote chez des caprins. Enfin, l'étude du microbiote intestinal constitue manifestement une première approche chez des chèvres au Sénégal. Nous pensons que des efforts devront être maintenus afin de renforcer les connaissances sur les pratiques d'élevage caprin au Sénégal, mais aussi la sécurité alimentaire dans les années futures. Le

caprin, et une meilleure connaissance de ses potentiels, pourraient être une clef pour le développement du secteur de l'élevage en Afrique et particulièrement au Sénégal.

Conclusion générale
et
perspectives

7 Conclusion générale et perspectives

7.1 Conclusion générale

Les résultats des études menées dans le cadre de cette thèse soulèvent des questions sur l'amélioration durable des systèmes d'élevage des chèvres et l'utilisation durable des ressources localement disponibles, au Sénégal. Les résultats montrent que l'élevage caprin, se caractérise par un système agropastoral traditionnel, où les contraintes majeures restent une absence de maîtrise du disponible fourrager due à une disparition progressive de la vaine pâture, suite à la forte urbanisation du monde rurale. Cette situation est exacerbée par un manque de données scientifiques, qui freinent l'objectivation de facteurs susceptibles d'améliorer ces systèmes de production. L'élevage caprin se heurte à plusieurs contraintes qui réduisent sa productivité, limitent son développement et mettent en péril sa pérennisation. Il a été noté une forte prédominance des femmes éleveuses de chèvres, ne disposant pas de terres pour rendre autonome leur activité d'élevage. Cette situation constitue un risque majeur pour atteindre les objectifs de l'association régionale des éleveurs caprins (ARECAP), qui sont l'amélioration de la conduite d'élevage, la valorisation des produits caprins, et la structuration de la filière caprine. Par ailleurs le développement du secteur de transformation par l'émergence d'autres produits à base du lait de chèvre, tels que le yaourt, le fromage, les crèmes glaces et les savons, met en évidence les possibilités d'innovation dans l'élevage caprin.

L'élevage caprin étant victime des mutations du contexte agricole qui ont progressivement entraîné une marginalisation de l'élevage, doit trouver de nouvelles stratégies d'adaptation pour être productif. Pour y apporter des réponses, notre étude a abordé avec l'ARECAP et ses partenaires, une réflexion sur les possibilités de mise en place d'un continuum fourrager et de son utilisation efficace et durable par les éleveurs, mais aussi des logements adaptés. Ainsi les résultats ont révélé une volonté des éleveurs à promouvoir le secteur, et la variabilité des opinions au sein des villages et entre éleveurs, selon les objectifs d'élevages. Toutefois, les pratiques telles que le logement en chèvrerie et l'alimentation à base de cultures fourragères, convergent vers une volonté des éleveurs de maintenir à demeure leurs chèvres durant l'année, dans une chèvrerie proche de la maison. Les raisons principales sont la protection des chèvres. D'abord contre les intempéries et en particulier les précipitations importantes lors de la saison des pluies, qui favorisent le développement de maladies et la mortalité en particulier chez les jeunes. En outre, les voies d'améliorations proposées par éleveurs vont surtout dans le sens d'une opérationnalisation des innovations sous forme de mise en place de parcelles fourragères et de chèvriers entamées avec l'appui des différents partenaires. Ainsi des renforcements de capacités sur les techniques de valorisation de ressources fourragères, tels que la fenaison et l'ensilage, mais aussi sur la gestion des chèvriers - suivi des performances, de la reproduction, gestion des chevrettes, rationnement ainsi que bonnes pratiques d'hygiène dans la valorisation du lait - sont impératifs.

Au Sénégal, les partenaires au développement que l'on trouve au sein des ONG, des projets de recherche et de l'Etat ont toujours considéré l'amélioration génétique comme une solution valable face aux faibles productivités des races locales. Ainsi le sous-secteur de l'élevage caprin en est un bon exemple, avec plusieurs tentatives d'introduction de races étrangères par croisement par monte naturelle ou par insémination artificielle. Mais malheureusement toutes ces tentatives n'ont pas donné les résultats escomptés. C'est pourquoi, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'efficacité alimentaire, pour comprendre l'allocation des nutriments entre fonctions physiologiques de production et d'adaptation en milieu contraignant chez la race locale (chèvre du Sahel) et la race espagnole (chèvre Majorera), nourris exclusivement à base de fanes de légumineuse: niébé fourrager (*Vigna unguiculata* L.), variété 58/74. Les résultats montrent que les chèvres de race Majorera ont montré un flux d'énergie et d'azote plus important dans l'organisme que les chèvres de race Sahélienne, mais l'efficacité de l'utilisation de l'énergie était assez similaire, malgré un taux de métabolisme basal plus élevé dans la race européenne. Dans des conditions difficiles, la race Sahélienne est probablement mieux adaptée pour survivre. La chèvre Majorera est plus productive mais nécessite probablement des aliments de meilleure qualité et plus d'attention de la part de l'éleveur. Dans la même continuité, la relation entre la digestibilité et le microbiote fécal révèle qu'il n'y a pas effet de race, malgré une ingestion plus élevée en MS chez la chèvre Majorera. Notre étude aurait peut-être pu montrer une plus grande diversité de la population microbienne si le site de prélèvement avait été le rumen, puisque les fèces ne reflètent qu'imparfaitement la totalité du microbiote du tube digestif.

Toutefois, des études supplémentaires sont encore nécessaires pour confirmer ces résultats, en particulier le besoin paradoxalement plus faible d'entretien en azote chez les chèvres Majorera. Mais des études plus approfondies s'avèrent également nécessaires pour mettre en évidence les relations possibles entre le profil du microbiote et les performances de production des chèvres.

7.2 Perspectives

Il est impossible de tracer une stratégie de développement cohérente et durable sans connaître les caractéristiques et le potentiel de production des populations caprines locales.

Ainsi, les efforts de la recherche zootechnique doivent être orientés vers la caractérisation des populations caprines locales par le biais de leur potentiel de production en lait et en viande et leurs constantes physiologiques de reproduction.

Il serait nécessaire d'évaluer les résultats issus des initiatives d'amélioration génétique en étudiant le niveau d'adaptation des populations croisées et leurs niveaux de production de lait et de viande. Le contrôle du degré de métissage et l'encadrement des éleveurs à une gestion efficace des élevages, peuvent limiter les risques.

Des études complémentaires doivent être également menées en station pour étudier le potentiel de production des populations croisées. De telles études fourniront aux décideurs politiques les éléments de décision pour opter pour l'amélioration des populations locales ou bien privilégier la voie des croisements avec les races améliorées.

L'étude de la prévalence des dominantes pathologiques bactériennes, virales et parasitaires permettra d'identifier un programme prophylactique adapté aux principales pathologies. L'alimentation doit s'appuyer sur la diversification des ressources alimentaires des troupeaux caprins par le test des nouvelles variétés fourragères pérennes, l'évaluation des disponibilités en sous-produits agricoles et forestières et l'étude des possibilités d'incorporation de divers coproduits dans la ration des caprins, ainsi que l'efficacité d'utilisation digestive des chèvres en fonction des différentes rations.

Qu'il ait vocation à produire du lait ou de la viande, l'élevage caprin en Afrique subsaharienne est une spéculation à fort potentiel, bien que rarement intensif. Il joue pleinement son rôle dans la chaîne alimentaire et transforme une vaste gamme de ressources locales en produits et services utiles à l'Homme, à la famille et à la société. Par ailleurs, les populations caprines locales ont développé une diversité de stratégies physiologiques, comportementales, génétiques, face aux contraintes du milieu tropical que sont la sécheresse, les pathogènes, la qualité des aliments. Animal très ancré dans la culture et les traditions des sociétés, la chèvre est ainsi un modèle d'adaptation au contexte socio-économique local et au contexte naturel.

Dans l'ensemble, cette thèse fournit des connaissances de base qui peuvent être utilisées pour développer des programmes d'élevage caprins et favoriser l'amélioration de la compétitivité des races dans les systèmes de production à faibles intrants.

Bibliographie

- Anderson, S. 2003. "Animal Genetic Resources and Sustainable Livelihoods." *Ecological Economics* 45: 331–339. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00088-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00088-0).
- Archimède, H., Bastianelli, D., Boval, M., Tran, G. and Sauvart, D. 2011. "Ressources Tropicales : Disponibilité et Valeur Alimentaire." *INRA Productions Animales*. 24 (1): 23–40.
- Ayalew, W., Rischkowsky, B., King, J.M. and Bruns, E. 2003. "Crossbreds Did Not Generate More Net Benefits than Indigenous Goats in Ethiopian Smallholdings." *Agricultural Systems* 76: 1137–1156.
- Baumgard, L.H. and Rhoads, R.P. 2012. "Effects of Heat Stress on Postabsorptive Metabolism and Energetics." *Reviews in Advance*, 28p. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>.
- Benson, A.K., Kelly, S.A., Legge, R., Ma, F., Jen, S., J Kim, J., Zhang, M. and al. 2010. "Individuality in Gut Microbiota Composition is a Complex Polygenic Trait Shaped by Multiple Environmental and Host Genetic Factors." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 107 (44): 18933–18938. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007028107>.
- Bett, R.C., Bett, H.K., Kahi, A.K. and Peters, K.J. 2009. "Evaluation and Effectiveness of Breeding and Production Services for Dairy Goat Farmers in Kenya." *Ecological Economics* 68: 2451–2460. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.04.014>.
- Calenge, F., Florence P. and Morgavi, D.P. 2014. "Intégrer La Caractérisation Du Microbiote Digestif Dans Le Phénotypage de l' Animal de Rente : Vers Un Nouvel Outil de Maîtrise de La Santé En Élevage ?" *INRA Productions Animales*. 27 (3): 209–222. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2014.27.3.3068>.
- Camara, A., Dieng, A. and Mergeai, G. 2018. "Analyses Prospectives Des Possibilités d'amélioration Durable Des Performances Des Exploitations Agricoles de l'ouest Du Bassin Arachidier Du Sénégal: Cas Des Producteurs de Jatropha (Jatropha CurcasL.)." *Tropicultura* 36 (4): 658–672.
- Camara, Y., Moula, N., Sow, F., Sissokho, M.M. and Antoine-Moussiaux, N. 2018. "Analysing Innovations among Cattle Smallholders to Evaluate the Adequacy of Breeding Programs." *Animal*, 1–10. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001544>.
- Chalchissa, G. 2018. "Evaluation of Biological Treatment of Barely Straw on Voluntary Intake and Milk Yield of Crossbred Dairy Cows under Small Scale Farmer ' s Condition." *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 8 (11): 79–83.
- Chen, Y., Penner, G.B., Li, M., Oba, M. and Guan, L.L. 2011. "Changes in Bacterial Diversity Associated with Epithelial Tissue in the Beef Cow Rumen during the Transition to a High-Grain Diet." *Applied and environmental microbiology* 77 (16): 5770–5781. <https://doi.org/10.1128/AEM.00375-11>.

- Collier, R.J., Rhoads, R.P. and Baumgard, L.H. 2008. “Invited Review : Genes Involved in the Bovine Heat Stress Response 1.” *American Dairy Science Association*, 445–454. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0540>.
- Doreau, M., Grimaud, P. and Michalet-doreau, B. 2020. “ La Sous-Alimentation Chez Les Ruminants : Ses Effets Sur La Digestion.” *Productions Animales, Institut National de La Recherche Agronomique* 13 (4): 247–255. <https://hal.inrae.fr/hal-02698926>.
- Dulphy, J.P., Martin-Rosset, W. and Jouany, J.P. 1995. “Ingestion et Digestion Comparées Des Fourrages Chez Différentes Espèces d ’ Herbivores.” *INRA Productions Animales*. 8 (4): 293-307.
- Dulphy, J.P., Baumont, R., Hotelier, L., Demarquilly, C., Jailler, M., Jamot, J., Détour, A. et al. 1999. “Amélioration de La Mesure et de La Prévision de l ’ Ingestibilité Des Fourrages Chez Le Mouton Par La Prise En Compte Des Variations de La Capacité d ’ Ingestion à l ’ Aide d ’ Un Fourrage Témoin To Cite This Version : HAL Id : Hal-00889819.” *Annales de Zootechnie* 48: 169–476.
- Falaye et al. 2015. “Grow Performance and Nutrient Utilization of Catfish (*Clarias Gariepinus*) Fed Varying Inclusion Level of Fermented Unsieved Yellow Maize.” *Continental J. Biological Sciences* 8 (1): 14–23. <https://doi.org/10.5707/cjbiolsci.2015.8.1.14.23>.
- Fanchone, A., H. Archimede, and M. Boval. 2009. “Comparaison de Deux Méthodes d ’ Estimation de La Digestibilité de Fourrages Verts Ingérés Au Pâturage Par Des Ovins : L ’ Azote Fécal et La Spectroscopie Dans Le Proche Infrarouge Comparison of Fecal Crude Protein and Fecal near Infrared Spectroscopy Use.” In *25e Édition Congrès International Francophone, Recherches-Rencontres-Ruminants, Paris, France*, 1p.
- Félix-Bernal, J.A., Estrada-Angulo, A., Angulo-Escalante, M.A., Castro-Pérez, B.I., Landeros-López, H., López-Soto, M.A., Barreras, A., Zinn, R.A. and Plascencia, A. 2016. “Feeding Value of Supplemental *Jatropha Curcas* Crude Oil in Finishing Diets for Feedlot Lambs.” *Journal of Animal Science* 94 (9): 3875–3882. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0598>.
- Ferreira, L.M.M., Hervas, G., Belenguer, A., Celaya, R., Rodrigues, M.A.M., Garcia, U., Frutos, P. and Osoro. K. 2017. “Comparison of Feed Intake , Digestion and Rumen Function among Domestic Ruminant Species Grazing in Upland Vegetation Communities.” *Animal Physiology and Animal Nutrition* 101: 846–856. <https://doi.org/10.1111/jpn.12474>.
- Gillerot, A. 2018. “ L’élevage caprin et la filière lait de chèvre dans la région de Fatick, au Sénégal: Diagnostic et perspectives d’une initiative d’émergence d’une dynamique laitière territoriale. Mémoire de fin d’études. Master Agris Mundus Sustainable Development in Agriculture. SupAgro Montpellier, France. 102p.
- Gizaw, S., Abebe, A., Bisrat, A., Zewdie, T. and Tegegne, A. 2018. “Defining Smallholders’ Sheep Breeding Objectives Using Farmers Trait Preferences versus Bio-Economic Modelling.”

- Livestock Science* 214 (May): 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.021>.
- Huang, J., Li, Y. and Luo, Y. 2017. “Bacterial Community in the Rumen of Tibetan Sheep and Gansu Alpine Fine-Wool Sheep Grazing on the Qinghai-Tibetan Plateau , China.” *J.Gen. Appl. Microbiol.* 63: 122–130. <https://doi.org/10.2323/jgam.2016.08.003>.
- Jalali, A.; Nørgaard, P.; Weisbjerg, M.; Nielsen, M. Effect of forage quality on intake, chewing activity, faecal particle size distribution, and digestibility of neutral detergent fibre in sheep, goats, and llamas. *Small Rumin. Res.* 2012. 103 (2–3): 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.004>.
- Jiao, J., Wang, P., He, Z., Tang, S., Tang, S., Zhou, C., Han, X., Wang, M., Wu, D., Kang, J. and Tan, Z. 2013. In vitro evaluation on neutral detergent fiber and cellulose digestion by post-ruminal microorganisms in goats. *Journal of the science of food and agriculture*, 94 (9), 1745-1752. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6485>.
- Karangiya, V.K. and Savsani, H.H. 2016. “Use of Densified Complete Feed Blocks as Ruminant Feed for Sustainable Livestock Production : A Review Use of Densified Complete Feed Blocks as Ruminant Feed for Sustainable Livestock Production : A Review.” *Agricultural Reviews* 37 (2): 141–147. <https://doi.org/10.18805/ar.v37i2.10739>.
- Kassa, K.S., Ahounou, S., Guiguigbaza-kossigan D., Chakirath S., Mikidadou T.I., Dotché, I., Gandonou, P.S. et al. 2016. “Performances de Production Laitière Des Races Bovines de l ’ Afrique de l ’ Ouest Performances of Milk Production of West Africa Cattle Breeds.” *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 10 (5): 2316–2330.
- Khan, M.A., Un-Nisa, M. and Sarwar, M. 2003. “Techniques Measuring Evaluation of Feeds Digestibility for the Nutritional Evaluation of Feeds.” *International Journal of Agriculture & Biology* 5 (1): 91–94.
- Kosgey, I.S., Rowlands, G.J., Arendonk J.A.M. and Baker, R. L. 2008. “Small Ruminant Production in Smallholder and Pastoral/Extensive Farming Systems in Kenya.” *Small Ruminant Research* 77 (1): 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.02.005>.
- Larue, R., Yu, Z., Parisi, V.A., Egan, A.R. and Morrison, M. 2005. “Novel Microbial Diversity Adherent to Plant Biomass in the Herbivore Gastrointestinal Tract , as Revealed by Ribosomal Intergenic Spacer Analysis and Rrs Gene Sequencing.” *Environmental Microbiology* 7 (4): 530–543. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2004.00721.x>
- Lescarret, A.L. 2019. “Relation Entre Le Microbiote Ruminal et Le Parasitisme Gastro-Intestinal Chez 2 Lignées Divergentes de Moutons Résistante et Sensible Aux Strongles Digestifs.” *Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT.* 116p.
- Mao, S., Zhang, M., Liu, J. and Zhu, W. 2015. “Characterising the Bacterial Microbiota across the Gastrointestinal Tracts of Dairy Cattle : Membership and Potential Function.” *Nature Publishing*

- Group 5 (16116): 1–14. <https://doi.org/10.1038/srep16116>.
- Mapiye, C., Mwale, M. and Mupeta, B. 2006. “Factors affecting milk production in the smallholder dairy sector of Zimbabwe.” *Livestock Research for Rural Development* 5: 15p.
- Martin, C. and Morgavi, D.P. 2010. “Bacterial Diversity Dynamics in Rumen Epithelium of Wethers Fed Forage and Mixed Concentrate Forage Diets.” *VETMIC* 146 (1–2): 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.04.029>.
- Michelland, R.J., Monteils, V., Zened, A., Combes, S., Cauquil, L. and Gidenne, T. 2009. “Spatial and temporal variations of the bacterial community in the bovine digestive tract.” *Journal of Applied Microbiology* 107: 1642–1650. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04346.x>.
- Nielsen, M.O., Kiani, A., Tejada, E., Chwalibog, A. and Alstrup, L. 2014. “Energy Metabolism and Methane Production in Llamas, Sheep and Goats Fed High- and Low-Quality Grass-Based Diets.” *Archives of Animal Nutrition* 68 (3): 171–185. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2014.912039>.
- Nozière, P., Sauvant, D. and Delaby, L.. 2018. INRA Feeding System for Ruminants. Wageningen Academic Publishers. INRA, 2018. Wageningen, The Netherlands. 640p. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-872-8>.
- Nsahlai, I.V., Goetsch, A. L., Luo, J., Johnson, Z. B., Moore, J. E., Sahl, T., Ferrell, C. L., Galyean, M. L. and Owens, F. N. 2004. “Metabolizable Energy Requirements of Lactating Goats.” *Small Ruminant Research* 53 (3): 253–273. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.04.007>.
- Onzima, R. 2014. “Economic Analysis of Cross Breeding Programs for Indigenous Goat Breeds in Uganda.” In *10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production Economic*, 4. Wageningen University, The Netherlands. 4p.
- Peacock, C. 2008. “Dairy Goat Development in East Africa: A Replicable Model for Smallholders?” *Small Ruminant Research* 77 (2–3): 225–238. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.005>.
- Peyrat, J. 2014. “Digestion de l’amidon et des parois végétales du maïs fourrager chez les ruminants : Conséquences sur l’évaluation de sa valeur nutritive.” Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II. Français. 286p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01163429>.
- Piñeiro-Vázquez, A.T., Ferrer, G.O.J., Chay-canul, A.J., Casanova-lugo, F., Díaz-echeverría, V.F., Ayala-burgos, A.J., Solorio-sánchez, F.J., Aguilar-pérez, C.F. and Ku-vera, J.C. 2017. “Intake , Digestibility , Nitrogen Balance and Energy Utilization in Heifers Fed Low-Quality Forage and *Leucaena Leucocephala*.” *Animal Feed Science and Technology* 228: 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009>.
- Pitta, D.W., Indugu, N., Baker, L., Vecchiarelli, B. and Attwood, G. 2018. “Symposium Review : Understanding Diet – Microbe interactions to enhance Productivity of dairy cows.” *Journal of Dairy Science* 101 (8): 7661–7679. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13858>.
- Ramanzin, M., Aguado, M.A.P., Ferragina, A., Cassini, R. and Bittante, G. 2017. “Methodological

- Considerations for the Use of Faecal Nitrogen to Assess Diet Quality in Ungulates: The Alpine Ibex as a Case Study.” *Ecological Indicators* 82: 399–408. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.06.050>.
- Romero-Huelva, M., Ramos-Morales, E. and Molina-Alcaide, E. 2012. “Nutrient Utilization, Ruminal Fermentation, Microbial Abundances, and Milk Yield and Composition in Dairy Goats Fed Diets Including Tomato and Cucumber Waste Fruits.” *Journal of Dairy Science* 95 (10): 6015–6026. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5573>.
- Rooke, J.A., Wallace, R.J., Duthie, C., Mckain, N., De Souza, S.M., Hyslop, J.J., Ross, D.W., Waterhouse, T. and Roehe, R. 2014. “Hydrogen and Methane Emissions from Beef Cattle and Their Rumen Microbial Community Vary with Diet , Time after Feeding and Genotype.” *British Journal of Nutrition* 112: 398–407. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000932>.
- Sabia, E., Claps, S., Napolitano, F., Annicchiarico, G., Bruno, A., Francaviglia, R., Sepe, L. and Aleandri, R. 2015. “In Vivo Digestibility of Two Different Forage Species Inoculated with Arbuscular Mycorrhiza in Mediterranean Red Goats.” *Small Ruminant Research* 123 (1): 83–87. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.10.008>.
- Sangaré, M. and Pandey, V.S. 2000. “Food Intake, Milk Production and Growth of Kids of Local, Multipurpose Goats Grazing on Dry Season Natural Sahelian Rangeland in Mali.” *Animal Science* 71 (1): 165–173. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054990>.
- Sanon, H.O. 2007. “The Importance of some sahelian browse species as feed for Goats.” Swedish University of Agricultural Sciences. 72p.
- Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., Meschy, F., Puillet, L., Schmidely, P. 2012. "Actualisation des recommandations alimentaires pour les chèvres laitières". *INRA Productions Animales*. (25) 259–276.
- Omasaki, S.K. 2017. “Optimization of Breeding Schemes for Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) in Smallholder Production Systems in Kenya.” Wageningen University, the Netherlands.167p.
- Vall, E., Blanchard, M., Diallo, M.A. and Lecomte, P. 2012. “ L’Innovation par simplification expliquée par le principe de moindre quantité d’action de Maupertuis : Cas de l’intégration agriculture-élevage en Afrique Soudano-Sahélienne.” In 19ème rencontres autour des recherches sur les ruminants, 5-6 Décembre 2012., Edited by Recherches Rencontres Ruminants, Paris, France. 19: 4 p.
- Vasta, V., Nudda, A., Cannas, A., Lanza, M. and 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>.
- Wang, Y., Cao, P., Wang, L., Zhao, Z. and Chen, Y. 2017. “Bacterial Community Diversity Associated with Different Levels of Dietary Nutrition in the Rumen of Sheep.” *Appl Microbiol Biotechnol* 101: 3717–3728. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8144-5>.
- Wurzinger, M., Ndumu, D., Baumung, R., Drucker, A., Okeyo, A.M., Semambo, D.K. and Byamungu, N.J.S. 2006. “Comparison of Production Systems and Selection Criteria of Ankole Cattle by Breeders in Burundi , Rwanda , Tanzania and Uganda.” *Tropical Animal Health and Production* 38: 571–581. <https://doi.org/10.1007/s11250-006-4426-0>.

Wurzinger, M., Sölkner, J. and Iniguez, L. 2011. “Important Aspects and Limitations in Considering Community-Based Breeding Programs for Low-Input Smallholder Livestock Systems.” *Small Ruminant Research* 98: 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.035>.

8 ANNEXES

ENQUETE DE TYPOLOGIE DES ELEVAGES CAPRINS DANS LA REGION DE FATICK

Procédures :

- 1- Présenter l'équipe et expliquer les objectifs de l'entretien.
- 2- Demander au chef du ménage de donner dans l'entretien une vue d'ensemble de la situation.
- 3- Si le propriétaire du ménage n'est pas présent, indiquer le nom du répondant
- 4- Une fois au foyer, relever les coordonnées GPS et marquer le numéro d'ordre du point enregistré

SECTION I : IDENTIFICATION DU PROPRIETAIRE

DATE DE L'ENTREVUE	NOM DU REpondant.....
COORDONNEES : LONGITUDE _____	LIEN AVEC LE PROPRIETAIRE:.....
LATITUDE _____	SEXE DU REpondant.....
CODE DE QUESTIONNAIRE	NIVEAU SCOLARISATION:
REGION :.....	PRIMAIRE _____
DEPARTEMENT :.....	SECONDAIRE _____
ARRONDISSEMENT.....	SUPERIEUR _____
COMMUNE :.....	CORAN _____
VILLAGE DE.....	ANALPHABETE _____
NOM DU CHEF DE L'EXPLOITATION :.....	

SECTION II : OPERATIONS

TERRAIN	
ENQUETEUR :.....	DATE DE LA COLLECTE:.....
	HEURE DE DEBUT DE COLLECTE.....

Toutes les réponses seront traitées de manière confidentielle et anonyme

Section A : CARACTERISATION DU MENAGE

A-1) Ménage

A-1-1) Nombre d'individus dans le ménage |____|

A-1-2) Activité principale du ménage |____|

Codes: 1=pasteur, 2=agropasteur, 3=Autre

A-2 COMPOSITION DU TROUPEAU

A-2-1) Combien de bovins avez-vous ? |____|

A-2-2) Combien de moutons avez-vous? |____|

A-2-3) Combien de chèvres avez-vous ? |____|

A-2-3) Avez-vous d'autres espèces que les ruminants? (0= Non, 1= Oui) |____|

A-3) Nombre de chèvres par catégorie

A-3-1) Combien de femelles adultes? |____|

A-3-2) Combien d'antennaises ? |____|

A-3-2) Combien d'antennais ? |____|

A-3-3) Combien de boucs ? |____|

SECTION B : GESTION DE LA REPRODUCTION

B-1) Combien de caprins mâles avez-vous ? |____|

B-1-2) Combien de caprines femelles avez-vous ? |____|

B-1-3) Combien de mise bas avez-vous en saison sèche ? |____|

B-1-4) Combien de mise bas avez-vous en hivernage ? |____|

B-1-5) Quel type de mise bas avez-vous ? (codes) |____|

(Codes: 1=Simple, 2=Double, 3=Triple)

B-1-6) Comment s'effectue la reproduction ? Saillie naturel |____| IA |____|

B-1-7) Si Saillie naturel, Comment utilisez-vous votre géniteur ?

Usage Permanent |____| Usage Programmé |____|

B-1-8) Pratiquez-vous la castration aux autres mâles de la chèvrerie (0= Non, 1= Oui) |____|

B-1-9) Quel race de géniteur avez- vous dans votre chèvrerie? (codes) |____|

(Codes: 1=Local, 2=Métisse, 3=Exotique)

SECTION C: CONDUITE, ALIMENTATION ET SANTE DES CAPRINS

C-1) Conduite

C-1-1) Quel mode d'élevage pratiquez-vous ? (codes) |____|

(Codes : 1= pâturage et complémentation ; 2= Stabulation seul ; 3=Pâturage seul)

C-1-1) Quel type de conduite pratiquez-vous en Saison sèche? (codes) |____|

(Codes : 1=divagation; 2= gardiennage; 3= Stabulation)

C-1-1) Quel type de conduite pratiquez-vous en Saison des pluies? (codes) |____|

(Codes : 1=attache aux piquets; 2= Stabulation; 3= gardiennage)

C-1-2) Quel type de parcage utilisez-vous ? (Codes) |____|

(Codes : 0=sans abris ; 1=abris)

C-2) Alimentation des caprins

C-2-1) Achetez-vous des compléments pour les caprins ? (0=Non, 1=Oui) |____|

Si oui quel type ? (Codes) |____|

(Codes : 1=sous produits agroindustriels ; 2=restes ménagers ; 3=concentrés usinés ; 4=ligneux)

C-2-2) Pour quelle genre sont-ils utilisés ? Femelle |____| Male |____|

C-2-3) Sur quelle saison de l'année ? Saison sèche |____| Saison des pluies |____|

C-1-4) Comment s'abreuvent vos caprins?

A volonté |____| Par heure |____|

C-3) Santé

C-3-1) Quels types de pathologies rencontrez-vous dans votre chèvrerie? (Codes) |____|

(Codes : 1=respiratoire ; 2=digestive ; 3=dermatoses ; 4=parasitoses)

C-3-2) Vaccinez-vous vos animaux ? (0= Non, 1= Oui) |____|

Si, Oui contre quelles maladies ?.....

C-3-3) Existe-il un suivi sanitaire? (0= Non, 1= Oui) |____|

Si oui par qui ? (1= Relais du village, 2=technicien d'élevage) |____|

C-3-4) Combien de mortalités enregistrez-vous en fonction des saisons ? (Codes) |____|

(Codes : 1=Adultes en saison sèche ; 2= adultes en saison des pluies ; 3= Jeunes en saison sèche ; 4=jeunes en saison des pluies)

SECTION D : REVENUS DE L'ELEVAGE DES CAPRINS

D-1) Transformez-vous le lait que vous produisez ? (0=Non, 1=Oui) |____|

D-2) quelle est le niveau de production des produits suivants par ménage ? Quantité

D-2-1) Lait frais hivernage (litres) |____|

D-2-2) Lait frais saison sèche (litres) |____|

D-2-3) Lait caillé hivernage (litres) |____|

D-2-4 lait caillé saison sèche (litres) |____|

D-2-5 autres produits (à spécifier) hivernage |____|

D-2-6) autres produits (à spécifier) saison sèche |____|

D-3 Autoconsommation du lait (0=Non, 1=Oui) |____|

D-4) Prix de vente moyen des produits durant la saison des pluies ?

Désignation	Quantité (litres) vendue journalière	Prix unitaire		Revenu moyen	Estimation des frais	Motivation (codes)
		Minimum	Maximum			
Lait frais						
Lait caillé						
autres produits (à spécifier)						

Code s : 1= alimentation des enfants; 2=fournir à l'unité de transformation; 3= autres (à préciser)

D-5) Prix de vente moyen des produits durant la saison sèche ?

Désignation	Quantité (litres) vendue journalière	Prix unitaire		Revenu moyen	Estimation des frais	Motivation (codes)
		Minimum	Maximum			
Lait frais						
Lait caillé						
Beurre autres produits (à spécifier)						

Code s : 1= alimentation des enfants; 2=fournir à l'unité de transformation; 3= autres (à préciser)

D-6) Quelles sont les ventes de caprins effectuées durant la dernière saison sèche ?

Désignation	Nombre de vente	Prix unitaire		Revenu moyen	Estimation des frais	Motivation (codes)
		Minimum	Maximum			

Caprins	Male	_____ 	_____ 	_____ 	_____ 	_____ 	_____
	Femelle	_____ 	_____ 	_____ 	_____ 	_____ 	_____

Codes: 1= gagner de l'argent pour les besoins quotidiens du ménage ; 2= améliorer son cheptel
3=préparer les activités agricoles (achat d'intrants) 4=Autres à préciser)

D-7) Quelles sont les ventes de caprins effectuées durant la saison des pluies

Désignation	Nombre de vente	Prix unitaire		Revenu moyen	Estimation des frais	Motivation (codes)
		Minimum	Maximum			
Caprins	Male	_____ 	_____ 	_____ 	_____ 	_____
	Femelle	_____ 	_____ 	_____ 	_____ 	_____

Codes: 1= gagner de l'argent pour les besoins quotidiens du ménage ; 2= améliorer son cheptel
3=préparer les activités agricoles (achat d'intrants) 4=Autres à préciser)

D-8) Quelle est la race du caprin vendu ? (codes) |_____|

(Codes: 1=Local, 2=Métisse, 3=Exotique)

Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège

4000 Liège (Belgique)

D/2021/0480/15

ISBN 978-2-87543-181-3



9 782875 431813