

Digestibilité de quelques ligneux fourragers préférés par les ovins dans la zone nord-soudanienne du Burkina Faso

Linda C. Gabriella Traore¹, Sita Sanou², Regina Roessler³, H. Oumou Sanon^{2*}, Valérie Bougouma-Yameogo⁴, Eva Schlecht³

¹Université de Nazi Boni, Ecole doctorale Sciences Naturelles et Agronomie (SNA), BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

²Institute de l'Environnement et de Recherche Agricoles du (INERA), Département de Production Animales, BP 910, Ouagadougou, Burkina Faso

³University of Kassel and University of Göttingen, Animal Husbandry in the Tropics and Subtropics, Witzenhausen, Allemagne

⁴: Université Nazi Boni, Institut du Développement Rural (IDR), Bobo Dioulasso, Burkina Faso

*Auteur correspondant : H. Oumou Sanon, hadjia_osanon@yahoo.fr

Mots clés : digestibilité *in vivo*, digestibilité *in vitro*, fourrage ligneux, ovins, production de méthane.

Key words: browse fodder, *in vivo* digestibility, *in vitro* digestibility, methane production, sheep.

Submitted 26/01/2025, Published online on 30th April 2025 in the [Journal of Animal and Plant Sciences \(J. Anim. Plant Sci.\) ISSN 2071 – 7024](#)

1 RESUME

Dans les parcours naturels plusieurs ligneux sont très appréciés par les ovins. Mais, l'identification des meilleurs ligneux pour la formulation des rations, nécessite les connaissances sur leur valeur nutritive. L'objectif de cette étude était d'évaluer la digestibilité *in vivo* et *in vitro* des rations contenant *Ficus sycomorus* (Figuier sycomore), *Khaya senegalensis* (Caïllcedrat) et *Bombax costatum* (Kapokier rouge) très appréciés par les ovins dans la zone nord-soudanienne du Burkina Faso. L'étude *in vivo*, a été conduit avec 8 béliers âgés de 18 à 24 mois, placés dans des cages de digestibilité individuels. Un carré de Youden avec 4 traitements et 2 béliers par traitement a été appliqué sur trois périodes de 20 jours chacune incluant 14 jours d'adaptation et 6 jours de mesures. La digestibilité *in vitro*, a été conduit à l'aide d'un test à gaz. L'étude a révélé que les feuilles de *Khaya senegalensis*, intégrées dans une ration à base de foin d'herbe sauvage et de gousses de *Faidherbia albida*, présentaient la plus faible digestibilité de la matière sèche (MS) et organique (MO) avec 56,3 % et 56,2 % ($p < 0,001$). À l'inverse, les rations contenant *Bombax costatum* et *Ficus sycomorus* avaient les meilleures digestibilités de la MO respectivement 59,6 % et 58,9 %, et des protéines brutes (PB) de 73,2 % et 65,4 %. *In vitro*, les rations avec *B. costatum* et *F. sycomorus* avaient les meilleures digestibilités de la MO (53,2 % et 53,0 %), tandis que les feuilles de *K. senegalensis* restaient les moins digestibles (45,8 % MO). Cependant, la production de méthane était similaire entre les rations, avec une moyenne de 12,8 % de GT en 24 h. Ces résultats montrent que *Ficus sycomorus* et *Bombax costatum* sont des fourrages de qualité, à promouvoir dans les zones nord-soudanienues du Burkina Faso.

ABSTRACT

In natural grazing areas, several browse species are highly palatable to sheep. However, identifying the best browse species for ration formulation requires knowledge of their nutritional value. The objective of this study was to evaluate the *in vivo* and *in vitro* digestibility of rations containing *Ficus sycomorus* (Sycomore fig) *Khaya senegalensis* (African mahogany) and *Bombax costatum* (red kapok tree) which are highly palatable to sheep in the

north-Sudanian zone of Burkina Faso. The *in vivo* study was conducted with eight rams aged 18 to 24 months, placed in individual digestibility cages. A Youden square design with four treatments and two rams per treatment was applied over three 20-day periods, including 14 days for adaptation and 6 days for measurements. The *in vitro* digestibility study was conducted using a gas test method. The study revealed that the leaves of *K. senegalensis*, incorporated into a ration based on wild grass hay and *Faidherbia albida* pods, showed the lowest digestibility of dry matter (DM) and organic matter (OM), with values of 56.3% and 56.2%, respectively ($p < 0.001$). In contrast, rations containing *B. costatum* and *F. sycomorus* had the highest OM digestibility, 59.6% and 58.9% respectively, and crude protein (CP) digestibility of 73.2% and 65.4%. *In vitro*, the rations with *B. costatum* and *F. sycomorus* exhibited the highest OM digestibility (53.2% and 53.0%), while *K. senegalensis* remained the least digestible (45.8% OM). However, methane production was similar across all rations, averaging 12.8 % of TG over 24 hours. These findings demonstrate that *Ficus sycomorus* and *Bombax costatum* are high-quality forages that should be promoted in the north-Sudanian zones of Burkina Faso.

2 INTRODUCTION

L'élevage des petits ruminants occupe une place socio-économique importante au Burkina Faso. En effet, les petits ruminants sont pour les ménages, une forme d'épargne sur pied, permettant de subvenir aux besoins essentiels de la famille (Missohou *et al.*, 2016). Sur le plan de l'économie nationale, l'élevage des petits ruminants a contribué au Produit Intérieur Brut (PIB) nationale à hauteur de 11 % en 2021. Malgré son importance, plusieurs facteurs freinent le développement de l'activité dont l'alimentation de petits ruminants représente l'une des contraintes majeures. L'alimentation repose en grande partie sur les pâturages naturels, dont la disponibilité en quantité et en qualité dépend des herbacées qui se raréfient et s'appauvrissent surtout en saison sèche (Zampaligré *et al.*, 2013). Pour pallier cette insuffisance, les éleveurs des pays de l'Afrique de l'ouest, se tournent vers les ligneux fourragers, dont les feuilles et gousses sont disponibles presque toute l'année. Parmi les espèces couramment utilisées, on retrouve *Ficus sycomorus* subsp. *gnaphalocarpa* (Miq.) C.C.Berg, *Azadirachta indica* A.Juss., *Guiera senegalensis* J.F.Gmel., *Combretum micranthum* G.Don., *Acacia macrostachya* Rchb. ex DC., *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr., *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon., *Ziziphus mauritiana* Lam., et *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause

(Abdou *et al.*, 2021; Sanon *et al.*, 2007; Traore *et al.*, 2023). Les feuilles des ligneux fourragers sont riches en protéines et minéraux, favorisant la production animale (Sanon *et al.*, 2008 ; Zampaligré *et al.*, 2013). Ainsi, une optimisation de l'utilisation de ligneux appréciés et localement disponibles permettrait une intensification des productions animales. Pour ce faire il est important de disposer des informations sur les valeurs nutritives, notamment sur la digestibilité des nutriments des fourrages ligneux. Selon Sidi-Imorou *et al.* (2016), c'est l'information idéale pour évaluer la qualité nutritionnelle des aliments, car elle révèle le degré d'assimilation des nutriments par l'animal, et une faible digestibilité peut entraîner une baisse des performances zootechniques de l'animal. Cependant, bien que la digestibilité de certains ligneux a été déterminée dans les travaux précédents (Ouedraogo-Koné *et al.*, 2008; Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015), des études supplémentaires sont encore nécessaires car la valeur nutritive des ligneux est variable dans le temps et selon les conditions pédoclimatiques (Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015). Cette étude vise à déterminer la digestibilité *in vivo*, la digestibilité *in vitro* et l'émission de gaz de méthane de trois ligneux fourragers par les ovins de la zone nord-soudanienne du Burkina Faso qui sont *Ficus sycomorus*, *Khaya senegalensis* et

Bombax costatum. L'hypothèse posée est que les plantes ligneuses présentent une teneur en protéines digestible plus élevée que les

graminées et serait de bon complément dans les rations pauvres en protéines digestibles.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 Site d'étude : L'étude a été menée de décembre 2021 à janvier 2022 à la Station de Recherche de Saria, Direction régionale de Recherches Environnementales et Agricoles (DRREA/Centre) de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) au Burkina Faso. Cette station se trouve dans le village de Saria, situé dans la commune de Koudougou, dans la Région du Centre-Ouest, à 23 km à l'Est de Koudougou et à 80 km à l'Ouest de Ouagadougou (latitude 12°16'N, longitude 2°9'W). Le climat y est de type nord-soudanien avec deux saisons (sèche et pluvieuse) distinctes (Fontes et Guinko, 1985). La végétation locale est principalement une savane à graminées annuelles. La strate ligneuse est typiquement présente dans les parcs agroforestiers. Une étude de ces parcs révèle une diversité de 20 à 49 espèces ligneuses, parmi lesquelles les plus dominantes sont *Vitellaria paradoxa*, *Lannea microcarpa* et *Azadirachta indica* (Schoubo et al., 2023).

3.2 Choix des ligneux : Les ligneux utilisés dans cette étude ont été sélectionnés à la suite d'une étude que nous avons menée sur la préférence alimentaire de huit ligneux fourragers par les ovins de la zone nord soudanienne du Burkina Faso. Ce sont : *Ficus sycomorus*, *Lannea microcarpa*, *Pterocarpus erinaceus*, *Khaya senegalensis*, *Azadirachta indica*, *Bombax costatum*, *Guiera senegalensis* et *Ziziphus mauritiana*. Il ressort de cette étude que *K. senegalensis*, *B. costatum* et *Z. mauritiana* sont les ligneux les plus appréciés par les ovins. En outre, le choix de ces espèces a été basé sur leur disponibilité dans la zone. Les

feuilles ont été collectées dans le village de Saria et ses alentours au mois de septembre à octobre. Le séchage des feuilles consistait à un pré-fanage à la station d'une journée suivi d'un séchage de 2 à 3 jours à l'ombre avec un retournement des feuilles une fois par jour. Après séchage, les feuilles ont été conditionnées dans des sacs en polypropylène de 100kg de capacité, et mis à l'abri du soleil et de la pluie.

3.3 Détermination de la digestibilité *in vivo*

3.3.1 Matériel animal : Au total, 8 bédiers entiers âgés de 18 à 24 mois, pesant entre 16,4 et 18,8 kg (soit une moyenne de $17,6 \pm 0,7$ kg) ont été utilisés. Ils ont été déparasités avec du Bolumisol M1 (1/2 comprimé pour 25 kg) et vaccinés contre la peste des petits ruminants avec Ovivax PPR (1 ml / ovin). Les bédiers ont été logés pendant la durée de l'étude dans des cages de digestibilité individuelles de 1,25 m x 1,2 m (photo 1) pour faciliter le contrôle des quantités distribuées et refusées et assurer un confort à l'animal.

3.3.2 Dispositif expérimental : Le dispositif expérimental utilisé a été un carré de Youden. Cette méthode est dérivée de celle du carré Latin sans la dernière période pour boucler le cycle. Elle a l'avantage de réduire le temps et sans compromettre la validité des résultats. Pour la réalisation de ce dispositif, les 04 régimes, 02 bédiers par traitement et 03 périodes de mesure de la digestibilité ont été considérés. Chaque période a duré 20 jours, dont 14 jours d'adaptation et 6 jours de collecte de données.



Photo 1 : Cages de digestibilité abritant les ovins en expérimentation

3.3.3 Régimes alimentaires : Les 04 régimes alimentaires étudiés sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Proportions des différents ingrédients des rations expérimentales (% MS)

Ingrédient	Ration 1	Ration 2	Ration 3	Ration 4
Feuilles sèches de <i>B. costatum</i>	30	0	0	0
Feuilles sèches de <i>F. sycomorus</i>	0	30	0	0
Feuilles sèches de <i>K. senegalensis</i>	0	0	30	0
Foin d'herbe sauvage	45	45	45	75
Gousses de <i>Faidherbia albida</i>	25	25	25	25

MS : matière sèche

Les différents ingrédients utilisés pour la formulation des rations étaient les feuilles de ligneux fourragers (*B. costatum*, *F. sycomorus*, *K. senegalensis*), le foin d'herbe sauvage et les gousses de *Faidherbia albida*. Le foin d'herbe sauvage a été obtenu en fauchant l'herbe fraîche au niveau des parcours naturels au mois d'août à septembre sans distinction des espèces fourragères puis en la séchant à l'air libre. La formulation des rations a été faite de sorte à couvrir les besoins d'entretien des béliers de l'expérimentation à l'aide d'un outil de rationnement développé par l'Université de Kassel en Allemagne. L'ingestion totale de matière sèche (MS) quotidienne a été fixée à 3,5% du poids vif. La ration journalière a été distribuée en deux temps, le matin et le soir. Les béliers avaient accès à l'eau potable et à la pierre à lécher à volonté. Avant et après chaque période de mesure, les béliers ont été pesés à

jeun le matin. La pesée des animaux se faisait à l'aide d'une balance numérique (peson type HCB, Kern & Sohn GmbH, Balingen, Allemagne) d'une capacité de 99 kg et d'une précision de 0,05 kg. L'autorisation éthique pour cette étude de digestibilité a été obtenue auprès du Comité d'éthique de l'université Joseph Ki-Zerbo de Ouagadougou (numéro CE-UJKZ/2022-07).

3.4 Collecte de données : Durant la phase de mesure de chaque période, les quantités d'aliments offertes aux animaux sont notées, et le lendemain les refus ont été collectés et pesés avec une balance numérique (peson type FOB, Kern & Sohn GmbH, Balingen, Allemagne ; portée de 6000 g et précision de 0,1 g). Un échantillon de 100 g de chaque aliment offert a été prélevé aux jours 1, 3 et 6, puis soigneusement mélangés pour constituer

l'échantillon de la période. Les refus alimentaires quotidiens de chaque animal ont été collectés par type d'aliment puis mélangés pour avoir un échantillon composite des six jours de collecte de données. Les fèces ont été collectées à l'aide de sacs culottes portés par les animaux pendant toute la phase de mesure. Les sacs étaient vidés deux fois par jour (7h et 17h) pour alléger les animaux, et les fèces pesées à l'état frais, puis séchées à l'ombre dans des sacs en coton jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les fèces sèches ont été mélangées par animal et par période, et deux échantillons de 100 g ont été prélevés. Ces échantillons ont été conservés dans des sacs en plastique zippés, bien étiquetés, et stockés à température ambiante jusqu'à leur analyse au laboratoire.

3.5 Calcul de la digestibilité des rations et de la digestibilité des ligneux : Pour le calcul des coefficients de digestibilité des différents nutriments des rations (MS, MO, PB, aNDF et ADF, voir en bas), la consommation journalière de ces nutriments a été calculée en soustrayant la quantité de nutriments présents dans les refus alimentaires de la quantité totale de nutriments offerts pour chaque animal et chaque période. Le coefficient de digestibilité (CD) apparente a été obtenu en appliquant la formule suivante :

$$CD (\%) = [(QI - QE) / QI] \times 100.$$

QI : Quantité ingérée du nutriment concerné journalièrement

QE : Quantité excrétée du nutriment concerné journalièrement

Le coefficient de digestibilité des nutriments des feuilles (CDF) des différents ligneux fourragers a été obtenue par la séquence des formules suivantes :

$$CDF (\%) = QDF / QIF \times 100$$

QDF : Quantité digérée du nutriment des feuilles concerné journalièrement

QIF : Quantité ingérée du nutriment des feuilles concerné journalièrement, en tenant compte que

$$QIRF = QIRBF + QIF$$

QIRF : Quantité du nutriment ingérée de la ration avec les feuilles

QIRBF : Quantité du nutriment ingérée avec la ration de base (foin + gosses) dans la ration avec les feuilles

$$QDF = QDRF - QDRB$$

QDRF : Quantité du nutriment digérée de la ration totale avec les feuilles

QDRB : Quantité du nutriment digérée de la ration de base (foin + gosses) dans la ration avec les feuilles

$$QDRF = QI - QE$$

$$QDRB = QIRBF * (CDRT (\%) / 100)$$

CDRT = coefficient de digestibilité apparente de la ration de base (foin + gosses)

3.6 Analyses au laboratoire : Les échantillons des aliments offerts, des refus et des fèces ont été broyés au tamis de 1 mm (broyeur à lames, Retsch GmbH, Haan, Allemagne) pour les différentes analyses réalisées au laboratoire de nutrition animale au Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation (CREAF) de l'Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (INERA) au Burkina Faso. Les paramètres analysés étaient la matière sèche (MS), la matière organique (MO), les protéines brutes (PB), les fibres détergentes neutres traitées à l'amylase (aNDF) et les fibres détergentes acides (ADF). La MS a été obtenue après séchage à l'étuve (Genlab Ltd., Cheshire, UK) à 103 °C pendant 24 h (AFNOR, 1982), puis les mêmes échantillons ont été calcinés au four à moufle Vulcan 3-550 (Deringer-Ney Inc., Bloomfield CT, USA) à 550 °C pendant au moins 4 heures (AFNOR, 1977) pour obtenir la matière minérale (MM). La teneur en MO était calculée en retirant la MM de 100. L'azote (N) a été déterminé par la méthode Kjeldahl (ISO, 1997). Le teneur en protéines brutes (PB) a été calculée par la formule $6,25 \times N$. Les teneurs en NDF et ADF ont été obtenues avec l'appareil semi-automatique Ankom²⁰⁰ fibre analyser (Ankom Technology, Macedon NY, USA) selon la méthode de Van Soest et al. (1991). L'alpha-amylase et le sulfate de sodium ont été utilisés comme réactifs pour déterminer le teneur en aNDF, et l'acide sulfurique pour déterminer le teneur en ADF (AFNOR, 1997).

3.7 Détermination de la digestibilité *in vitro* : La digestibilité *in vitro* de la matière

organique (DIVMO) des rations testées *in vivo* (tableau 1) a été déterminée à partir d'un test à gaz en avril et juillet 2023. La méthode modifiée de test à gaz de Hohenheim (Menke & Steingass, 1988) a été utilisée pour évaluer la production de gaz totale et de méthane au bout de 24 h au laboratoire de la section « Ruminant nutrition » de l'Université de Göttingen. Les ingrédients de la ration ont été finement broyés dans un broyeur à billes (MM 301, Retsch GmbH, Haan, Allemagne), puis mélangés selon les pourcentages indiqués dans le tableau 1. Pour chaque échantillon, deux incubations ont été effectuées avec deux seringues en verre à chaque incubation, ce qui donne un nombre total de 4 réplifications par échantillon. Les seringues étaient remplies de $0,23 \pm 0,01$ g de la ration et de 30 ml de liquide du rumen tamponné provenant d'une vache fistulée et alimentée avec une ration composée de foin herbacé à volonté ainsi que 300 g d'aliment concentré pour vache laitière « Laktaria 18 pell ». A chaque incubation ont été ajoutés 3 seringues à blanc, 3 seringues avec de l'herbe standard et 3 avec du concentré standard. La production de gaz de l'herbe et du concentré standard sont bien connus et servent de correcteurs. L'ensemble a été placé dans un incubateur rotatif (1 tour/min ; Binder, Tuttlingen, Allemagne) à une température constante de 39 °C. Si la production de gaz (GT) était importante, la lecture de la seringue se faisait après 8 h et le piston de la seringue était ramené à sa position initiale de 30 ml. Le gaz total produit de ces seringues au bout de 24 h a été déterminé par sommation de la production après 8 et 24 h. À chaque lecture du volume de gaz, un échantillon de gaz de 10 ml a été prélevé pour l'analyse du méthane (CH₄). La production de GT des rations a été corrigé en déduisant la GT des seringues à blanc et a été exprimé en ml/200 mg MS. La production de CH₄ après (8 h et) 24 h a été quantifiée par comparaison du pic de méthane contenu dans la phase gazeuse de l'échantillon à celui des standards connus à

l'aide d'un chromatographe (TriPlus RSH, Thermo Fischer Scientific Inc., Schwerte, Allemagne). La production de CH₄ est rapportée en % du GT brut après 24 h. Pour estimer la DIVMO, la formule suivante (Menke & Steingass, 1988 ; tableau 13 ; équation 43) a été utilisée :

$$\text{DIVOM} = 15,38 + 0,8453 * \text{GT} \text{ (ml/200 mg MS)} + 0,0595 * \text{PB} \text{ (g/kg MS)} + 0,0675 * \text{MM} \text{ (g/kg MS)}.$$

3.8 Analyses statistiques : Les données ont été enregistrées sur un tableur Excel (version 2019) et les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel statistique R version 4.4.1 (Core team, 2024). Les statistiques du model linéaire mixte (*lmm*) ou généralisé (*glmm*) ont été effectués avec le package *lme4* (Bates et al., 2015) selon la nature de la distribution des variables dépendantes ; avec l'animal comme facteur aléatoire, le traitement et la période comme facteurs fixes comme suite :

lmer/glmer(Variable~ Traitement

**** Période + (1 | Animal), base de donnée)***

Le test post-hoc Tukey HSD avec le package *multcomp* (Hothorn et al., 2008) a été utilisé pour déterminer les différences significatives par paires. Les résidus ont été vérifiés graphiquement avec la fonction *ggqqplot* avec le package *ggpubr* et l'homogénéité des variances avec le test de Bartlett du package *rstatix* (Kassambara, 2023). Les différences statistiques ont été considérées significatives à un niveau de $p < 5\%$. Pour le test à gaz, les moyennes de DIVMO, GT et CH₄ ont été calculées pour chaque répétition. Toutes ces variables suivant une loi normale, un test ANOVA, suivi du test post-hoc Tukey HSD pour déterminer les différences significatives par paires ont été réalisés. Les résidus ont été vérifiés graphiquement avec *ggqqplot* avec le package *ggpubr* (Kassambara, 2023) et l'homogénéité des variances avec le test de Bartlett du package *rstatix* (Kassambara, 2023).

4 RESULTATS

4.1 Composition chimique des fourrages : La teneur en MS des fourrages a varié de 93,3 % à 94,8 %, respectivement, pour les feuilles de *F. sycomorus* et le foin (ration de base). *F. sycomorus* a montré la teneur en MO la plus faible (78,3% de MS) et la teneur la plus importante a été observée pour les gousses de *F. albida* (94,6% de MS). La teneur en PB la plus

faible a été notée pour le foin d'herbe sauvage (4,2% de MS) et la plus haute pour les feuilles de *B. costatum* (14,1% de MS) ; pour les autres ligneux la teneur de PB était supérieure à 7%. La teneur (en MS) en aNDF et ADF a varié de 29,7 % à 61,5% pour le foin et de 16,8% à 34,4% pour les feuilles de *F. sycomorus*.

Tableau 2 : Composition chimique moyenne et coefficient de variation (CV) des aliments offerts durant l'étude (n=6 échantillons par aliment)

Aliment	MS (%MF)	MO (%MS)	PB (%MS)	aNDF (%MS)	ADF (%MS)
Foin sauvage	94,8 (0,01)	86,7 (0,04)	4,2 (0,19)	61,5 (0,07)	34,4 (0,12)
Gousses de <i>Faidherbia albida</i>	93,4 (0,01)	94,6 (0,01)	13,1 (0,07)	41,2 (0,02)	28,1 (0,03)
Feuilles de <i>Bombax costatum</i>	93,5 (0,01)	90,7 (0,01)	14,1 (0,06)	39,5 (0,08)	18,9 (0,06)
Feuilles de <i>Ficus sycomorus</i>	93,3 (0,01)	78,3 (0,02)	9,2 ((0,09)	29,7 (0,07)	16,8 (0,07)
Feuilles de <i>Khaya senegalensis</i>	94,5 (0,00)	91,8 (0,00)	9,9 (0,12)	36,5 (0,04)	23,4 (0,12)

MS : Matière sèche, MF : Matière fraîche, MO : Matière organique, PB : protéines brutes, aNDF : fibre détergent neutre traité avec amylase, ADF : Fibre détergent acide.

4.2 La digestibilité apparente des nutriments des rations à base des feuilles : L'effet de l'intégration des feuilles de ligneux dans l'alimentation des ovins a varié selon l'espèce ligneuse fourragère (tableau 3). Globalement il est ressorti que l'intégration des feuilles de *B. costatum* et de *F. sycomorus* n'a pas eu d'effet significatif sur la digestibilité de la MS, MO, des PB et de aNDF comparativement à la ration témoin. Par contre, leur intégration s'est

soldée par une diminution statistiquement significative de la digestibilité des ADF comparativement au témoin soit 41,1 % ; 46,4 % ; et 41,1 % pour *B. costatum*, *F. sycomorus* et *K. senegalensis* ($p < 0,001$). Contrairement aux autres espèces, l'intégration des feuilles de *K. senegalensis* a entraîné une diminution statistiquement significative de la digestibilité pour tous les paramètres.

Tableau 3 : Coefficients de digestibilité (d, %) des nutriments dans des rations des ovins contenant des fourrages ligneux (n= 6 animaux par traitement)

Traitements	dMS	dMO	dPB	daNDF	dADF
Contrôle	58,8 ^a	58,1 ^a	66,3 ^{ab}	51,8 ^a	49,7 ^a
<i>Bombax costatum</i>	59,6 ^a	59,6 ^a	73,2 ^a	47,8 ^a	41,1 ^b
<i>Ficus sycomorus</i>	58,9 ^a	60,3 ^a	65,4 ^{ab}	52,5 ^a	46,4 ^b
<i>Khaya senegalensis</i>	56,3 ^b	56,2 ^b	67,5 ^b	44,0 ^b	41,1 ^b
Moyenne globale	58,4	58,6	68,1	48,9	44,6
Erreur-type de la moyenne	0,52	0,59	1,16	1,13	1,58
valeur p	<0,001	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001

Les moyennes d'une même colonne auxquelles ont été attribuées des lettres différentes en exposant sont différentes à $p < 0,05$ avec le test post hoc de Tukey HSD.

MS : Matière sèche, MO : Matière organique, PB : protéines brutes, aNDF : fibre détergent neutre traité avec amylase, ADF : Fibre détergent acide.

4.3 La digestibilité apparente des nutriments des feuilles : La digestibilité apparente des nutriments (%) des feuilles des ligneux étudiés est présentée dans le tableau 4. L'analyse des coefficients de digestibilité apparente des nutriments (%) des feuilles montre que toutes les espèces ont les mêmes niveaux de digestibilité de la PB ($p=0,1$). Les feuilles de *B. costatum* et de *F. sycomorus* ont eu les mêmes niveaux de digestibilité pour ce qui

concerne la MS (61,3 % et 59,1 % respectivement) et la MO (62,9 % et 65,8 % respectivement). Par contre, pour aNDF et ADF, les feuilles de *F. sycomorus* ont enregistré des niveaux de digestibilité plus importants et statistiquement significatifs (51,5 % et 41,1 % respectivement). Quant aux feuilles de *K. senegalensis*, elles ont enregistré les plus faibles taux de digestibilité et cela pour tous les paramètres.

Tableau 4 : Coefficient de la digestibilité (d, %) des nutriments des feuilles seuls (n= 6 animaux par traitement)

Traitements	dMS	dMO	dpB	daNDF	dADF
<i>Bombax costatum</i>	61,3 ^a	62,9 ^a	81,8 ^a	35,0 ^b	11,3 ^b
<i>Ficus sycomorus</i>	59,1 ^a	65,8 ^a	64,3 ^a	51,5 ^a	41,1 ^a
<i>Khaya senegalensis</i>	43,9 ^b	45,8 ^b	71,5 ^a	14,7 ^c	9,7 ^c
Moyenne générale	55,4	58,9	72,5	32,7	20,0
Erreur-type de la moyenne	2,58	2,74	3,74	4,75	5,36
valeur p	<0,001	<0,001	0,1	<0,001	<0,001

Les moyennes d'une même colonne auxquelles ont été attribuées des lettres différentes en exposant sont différentes à $p<0,05$ avec le test post hoc de Tukey HSD.

MS : Matière sèche, MO : Matière organique, PB : protéines brutes, aNDF : fibre détergent neutre traité avec amylase, ADF : Fibre détergent acide.

4.4 Digestibilité *in vitro*, production de gaz total et de méthane : Les résultats de DIVMO (%), GT (ml/200 mg MS) et CH₄ (% de GT) en 24 h sont présentés dans le tableau 5. La production de gaz de la ration à base de *B. costatum* a été la plus élevée de toutes les rations (30,0 ml). Elle est significativement différente ($p = 0,02$) de celle à *K. senegalensis*, qui a la plus faible valeur observée (25,1 ml). Aucune différence significative n'a été observée pour la production

de méthane entre les différents traitements ($p=0,34$) ; la production a varié de 11,6 % à 14,1 %, respectivement, pour la ration à base de *B. costatum* et de *F. sycomorus*. Enfin, la DIVMO des rations était de 53,2 % pour la ration à base de *B. costatum*, suivi de la ration à base de *F. sycomorus* (53,0 %), du témoin (49,5 %) et de *K. senegalensis* (48,1 %). La différence entre les rations était significative ($p=0,007$).

Tableau 5 : Gaz total (GT, ml/200 mg MS) produit en 24 h, production de méthane (CH₄, en % du GT), et digestibilité *in vitro* de la matière organique (DIVMO, %)

Traitements	GT	CH ₄	DIVMO
Contrôle	26,8 ^{ab}	13,7 ^a	49,5 ^c
<i>Bombax costatum</i>	30,0 ^a	11,6 ^a	53,2 ^a
<i>Ficus sycomorus</i>	27,8 ^{ab}	14,1 ^a	53,0 ^b
<i>Khaya senegalensis</i>	25,1 ^b	11,7 ^a	48,1 ^d
Moyenne générale	27,4	12,8	50,9
Erreur-type de la moyenne	0,50	0,42	0,60
valeur p	0,029	0,34	0,007

ANOVA et test post-hoc de type Tukey HSD ; les valeurs dans la même colonne avec des lettres en exposant différentes diffèrent à $p < 0,05$.

5 DISCUSSION

5.1 Composition chimique des fourrages : Les caractéristiques chimiques du foin sauvage utilisé dans cette étude sont supérieures à celles du foin de brousse utilisé par Mahaman *et al.* (2017) au Niger, qui ont rapporté 93,7 % de MS, 86,4 % de MO et 2,7 % de PB. Cependant, elles sont inférieures à celles de la paille de riz (93,4 % de MS, 4,9 % de PB, 64,5 % de NDF et 35,5 % d'ADF) (Traore *et al.*, 2022). La teneur en PB des gousses de *F. albida* utilisées dans notre étude comme complément protéine est inférieure à celle trouvée par Ajiji *et al.* (2013) au Nigeria (16,6 %) mais supérieure à celle des gousses de *Piliostigma reticulatum* (8,2 %) noté par Traore *et al.* (2022). De plus, la teneur en MO et en PB des feuilles de *B. costatum* est inférieure aux valeurs rapportées par Adebowale *et al.* (2015) au Bénin (94 % de MO et 18,7 % de PB). La teneur en PB des feuilles de *K. senegalensis* est inférieure à celle de 11,6 % rapportée au Bénin par Yetongnon *et al.* (2013) mais similaire au valeur de 9,6 % trouvé par Gninkplékpo *et al.* (2024) au Bénin. Enfin, la teneur en PB des feuilles de *F. sycomorus* est conforme aux résultats de Yahaya *et al.* (2001) au Nigéria, mais inférieure à celle de 14,9 % rapportée par Njidda & Ikhimioya (2010 ; cités par Kassa & Tadele, 2015) au Nigeria. Les concentrations aNDF et ADF obtenues pour *K. senegalensis* sont inférieurs à ceux obtenues par Gninkplékpo *et al.* (2024) à savoir 47,5 % et 30,3 % respectivement. De même, nos valeurs de 55,6% pour aNDF et 36,9% pour ADF de *F. sycomorus* sont inférieures de ceux obtenues par Yahaya *et al.* (2001). Les différences observées avec les autres auteurs pourraient s'expliquer par des différences pédoclimatiques des lieux de collecte, au stade de développement des feuilles, et à la période de récolte. Néanmoins, la teneur en PB des différents fourrages utilisés dans cette étude, à l'exception du foin de brousse, dépasse les 7 % requis comme minimum pour une croissance microbienne et l'activité de fermentation des microorganismes du rumen (Van Soest, 1994).

5.2 La digestibilité *in vivo* et *in vitro* : La ration complémentée avec les feuilles de *K. senegalensis* a montré la plus faible digestibilité *in*

vivo de la MS. Cependant, Ouédraogo-Koné *et al.* (2008) ont rapporté des digestibilités *in vivo* supérieures aux nôtres, à savoir 52,2 % de MS, 72,5 % de PB et 39,4 % de NDF pour les feuilles de *K. senegalensis*. Gninkplékpo *et al.* (2024), dans leur étude sur la digestibilité *in vivo* d'une ration contenant des feuilles de *K. senegalensis* (60% de foin de *Panicum maximum*, 10% de son de maïs, et 30% de *K. senegalensis*), ont obtenu des valeurs de digestibilité de 81,7 % de la MS et 67,7 % de la MO, qui sont supérieurs à nos résultats. Les caractéristiques chimiques des feuilles de *K. senegalensis* pourraient expliquer ces résultats, notamment une teneur en ADF et en aNDF plus élevée, ainsi qu'une teneur en PB relativement faible. Selon Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2015), des teneurs élevées en MS, ADF et NDF peuvent réduire la digestibilité et limiter l'ingestion. D'autre part, selon Ouédraogo-Koné *et al.* (2008), la faible digestibilité des feuilles de *K. senegalensis* pourrait être attribuée à la présence de facteurs antinutritionnels, qui leur confèrent un goût amer réduisant l'ingestion et qui forment des complexes avec les protéines, rendant celles-ci moins digestibles. Par contre, la complémentation du foin d'herbe sauvage avec les feuilles de *B. costatum* a entraîné une amélioration de la digestibilité des PB due probablement à leur teneur plus importante en PB comparativement aux autres espèces. L'ajout de ces feuilles dans la ration a fourni un apport accru d'azote, créant ainsi un environnement favorable dans le rumen, ce qui a amélioré la digestibilité. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ouédraogo-Koné *et al.* (2008) pour *Azizelia africana*. De plus, selon Adebowale *et al.* (2015), les feuilles de *B. costatum* contiennent peu de facteurs antinutritionnels, tels que les tanins condensés (environ 0,001 % MS), qui pourraient affecter la digestibilité des protéines. Nos résultats concernant la digestibilité de la MO *in vivo* des feuilles de ligneux - variant de 45,8 % pour *K. senegalensis* à 65,8 % pour *F. sycomorus* - sont inférieurs à ceux obtenues par Dione *et al.* (2022) au Sénégal, variant de 63% à 70% pour *Ficus capensis* Thunb. et *Balanites aegyptiaca*. La digestibilité *in vivo* des nutriments des feuilles de

F. sycomorus est supérieure aux valeurs rapportées par Yahaya et al. (2001) au Nigéria (53,6 % MS ; 60,1% PB ; 58,4 % NDF et 55,2 % ADF), ce qui pourrait être liée à une différence de la composition chimique des ligneux issu de deux localités différentes. Avornyo et al. (2020) au Ghana rapportaient également des valeurs de digestibilité supérieures aux nôtres avec des caprins, à savoir 69,1 % MS ; 63,7 % MO ; 76,3 % PB ; 70,4 % NDF ; et 64,2 % ADF pour les feuilles du *F. sycomorus*. Les auteurs expliquent ces meilleurs résultats par une meilleure adaptation des chèvres (et donc des brouteurs intermédiaires bien adaptés aux rations mixtes herbacées/ ligneux) à la consommation des ligneux. De même, Ouedraogo (2006) dans la province du Sanguié au Burkina, a obtenue des valeurs de 69 % MS, 71 % MO, 67% PB, 18 % NDF et 52 % ADF pour la digestibilité *in vivo* des feuilles de *K. senegalensis* à partir d'une ration à 30% de foin de *Pennisetum pedicellatum*. Ces valeurs exceptées pour la PB sont supérieures à nos résultats et pourraient encore être liés aux réalités pédoclimatiques différentes. D'une manière générale, la digestibilité *in vivo* des rations feuilles était supérieure à celle obtenue *in vitro*. Le même constat est fait pour les valeurs de la digestibilité des feuilles seules. Selon Pacheco et al. (2018) les meilleurs résultats *in vivo* pourraient être attribués à la période d'adaptation de 14 jours, durant laquelle les populations microbiennes du rumen peuvent s'adapter aux régimes expérimentaux. Les meilleurs résultats obtenus *in vivo* pourraient être aussi dus à la différence entre le jus de rumen de bovin et d'ovin (Ortíz-Domínguez et al., 2021) ; ces auteurs ont noté que le jus du rumen de

bovin est moins adapté aux composés secondaires des plantes que celui des ovins. A cet effet, les composées secondaires comme les tanins condensés ont été signalé par Belachew et al. (2013) pour *F. sycomorus* de 8,5% de MS. Selon ces auteurs, les tanins condensés peuvent impacter négativement la digestibilité du fourrage. En outre la digestibilité *in vivo* des PB des feuilles seules n'était pas significativement différente et était supérieure à 70 % à l'exception de *F. sycomorus*. Cela en fait de bon complément pour les rations pauvres en azote - notamment dans les zones semi-arides où la quantité et la qualité des fourrages herbacées baisse en saison sèche, comme le soulignent Belachew et al. (2013) et Gninkplekpo et al. (2024). D'après Avornyo et al. (2020), offrir exclusivement certaines espèces de fourrages ligneux comme aliment peut améliorer la digestibilité des protéines brutes, tandis que les intégrer jusqu'à 50 % dans un régime à base de foin peut optimiser la digestibilité des autres nutriments. Les rations à base de *B. costatum* et de *F. sycomorus* ont présenté une production élevée de GT. Selon Blama et al. (2022), lorsque la DIVMO des feuilles est augmentée, la production de gaz s'en suit, en raison d'une activité microbienne accrue. La production de méthane des trois types de feuilles étudiées n'était pas significativement différente. En effet, comme l'ont souligné Mebirouk-Boudechiche et al. (2015), les tanins condensés peuvent contribuer à la réduction des émissions de méthane. Toutefois, des tels relations restent à étudier en détail pour les trois types de feuilles de ligneux fourragères testées ici.

6 CONCLUSION

Cette étude met en évidence que l'ajout de feuilles de *Khaya senegalensis* à une ration à base d'herbe sauvage sèche présente une digestibilité réduite de la matière sèche, attribuable à la composition chimique de ces feuilles, notamment une teneur élevée en fibres. À l'inverse, les feuilles de *Bombax costatum* et *Ficus sycomorus* se distinguent par une digestibilité supérieure de la matière organique et des

protéines brutes, notamment grâce à leur faible teneur en NDF et ADF. Cependant, la présence de tanins condensés dans les feuilles de *F. sycomorus* pourrait avoir un effet dépressif sur la digestibilité des protéines, mais d'autre part, elle pourrait contribuer à réduire les émissions de méthane entérique. Il est donc crucial de prendre en compte les caractéristiques chimiques et des facteurs antinutritionnels des différentes espèces

ligneuses lors de l'élaboration des rations pour les ovins. *B. costatum* et *F. sycamorus* sont des ligneux fourragers d'intérêt pour améliorer la nutrition des ruminants. Il serait opportun de

favoriser l'entretien et la multiplication de ces espèces dans les zones agropastorales nord-soudaniennes.

7 REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Union Européenne, pour le soutien financier dans le cadre du programme

Horizon 2020 (H2020-SFS-2019-2), projet *Sustain.Sabel* (numéro 861974).

8 REFERENCES

- Abdou A, Saley K, Ali M. et Aboubacar I: 2021. Impacts d'une technique de restauration de terre dégradée sur la survie et la croissance des plants de quatre espèces de combretaceae en zone sahélienne du niger. *European Scientific Journal ESJ*, 17(43), 134–157. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p134>
- Adebowale KO, Nwokocha LM. and Agbaje B: 2015. Composition and food value of leaves of two tropical food thickeners- *Bombax costatum* and *Cissus populnea*. *Canadian Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(1), 3221–3227.
- AFNOR (Association française de normalisation): 1977. Aliments des animaux. Dosages des cendres brutes. NF V 18-101, 2PP.
- AFNOR (Association française de normalisation): 1982. Aliments des animaux. Détermination de la teneur en eau. NF V 18-109, 5PP.
- AFNOR (Association française de normalisation): 1997. Aliments des animaux. Détermination séquentielle de constituants pariétaux. NF V 18-122, 11pp.
- Ajiji I, Nyako HD. and Ashom SA: 2013. Performance of Yankasa rams fed *Andropogon gayanus* (gamba grass) hay supplemented with *Faidherbia albida* (acacia) pods. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(13), 137–142. <http://www.iiste.org/book/>
- Avornyo FK, Partey ST, Zougmore RB, Asare S, Agbolosu AA, Akufo NM, Sowah NA. and Konlan SP: 2020. *In vivo* digestibility of six selected fodder species by goats in northern Ghana. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 473-480. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01989-w>
- Bates D, Maechler M, Bolker B. and Walker S: 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
- Belachew Z, Yisehak K, Taye T. and Janssens GPJ: 2013. Chemical composition and in sacco ruminal degradation of tropical trees rich in condensed tannins. *Czech Journal of Animal Science*, 58(4), 176–192. <https://doi.org/10.17221/6712-cjas>
- Blama Y, Ziebe R. et Zoli Pagnah A: 2022. Digestibilité *in vitro* des ressources utilisées dans l'alimentation des ruminants en zone semi-aride du Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(3), 934-947. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i3>.
- Fontes J. et Guinko S: 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative. Paris, France, Ministère de la coopération française ; 68p.
- Gninkplékpo ELR, Koura BI, Lesse PDA, Yaoitcha A, Accalogoun J, Hornick JL, Cabaraux JF. and Houinato MRB: 2024. Forage preference, voluntary intake, and *in vivo* digestibility of six tropical tree leaves by sheep in semi-arid areas in Benin Republic (West Africa). *Sustainability (Switzerland)*, 16(6). 1-15. <https://doi.org/10.3390/su16062270>.

- ISO (International Organization for Standardization), (1997). Aliments des animaux. Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéines brutes - Méthode KJELDAHL. ISO5983, 1-9.
- Kassa A. and Tadele Y: 2015. Ficus sycomorus (Sycamore Fig or Shola) Leaf, A Potential Source of Protein for Ruminants : a review. *Journal of Fisheries & Livestock Production*, 3(4). 9pp. <https://doi.org/10.4172/2332-2608.1000152>
- Mahaman MMO, Chaibou M, Abdou D, Abdou Ide B, Issoumane Sitou M. et Mani M: 2017. Evaluation de l'ingestibilité des bouchons alimentaires à base des sous-produits de niébe utilisés pour l'engraissement des ovins. *Revue Des BioRessources*, 7, 1–11. <https://journals.univ-ouargla.dz/index.php/RBR/article/view/1346>
- Mebirouk-Boudechiche L, Abidi S, Cherif M. et Bouzouraa I: 2015. Digestibilité *in vitro* et cinétique de fermentation des feuilles de cinq arbustes fourragers du nord est algérien. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 166(11–12), 350–359.
- Menke KH. and Steingass H: 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28, 7–55.
- Missohou A, Nahimana G, Ayssiwede SB. et Sembene M: 2016. Elevage caprin en Afrique de l'Ouest : une synthèse. *Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux*, 69(1), 3–18. <https://doi.org/10.19182/remvt.31167>.
- Ouédraogo S. (2006). Potentialités fourragères et essais d'amélioration de la valeur nutritive de trois ligneux fourragers: *Piliostigma thonningii* Schumacher Mile-Redh, *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hoscht et *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural. 145p.
- Ouédraogo-Koné S, Kaboré-Zoungana CY. and Ledin I: 2008. Intake and digestibility in sheep and chemical composition during different seasons of some West African browse species. *Tropical Animal Health and Production*, 40(2), 155–164. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9075-4>
- Ortiz-Domínguez GA, Marin-Tun CG, Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Capetillo-Leal CM, Torres-Acosta JFJ. and Sandoval-Castro CA: 2021. Comparing the *in vitro* digestibility of leaves from tropical trees when using the rumen liquor from cattle, sheep or goats. *Small Ruminant Research*, 205, 106561 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106561>
- Pacheco J, Pittet A, Kragten SA. and Arrigo Y: 2018. Digestibilité de la matière organique: comparaison de valeurs mesurées *in vitro* et *in vivo*. *Recherche agronomique suisse*, 9(3), 92-97.
- Sanon HO, Zoungana-Kaboré C. and Ledin I: 2007. Behaviour of goats, cattle and sheep, and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small Ruminant Research*, 67 (64 – 74)
- Sanon HO, Zoungana-Kaboré C. and Ledin I: 2008. Nutritive value and voluntary feed intake by goats of three browse fodder species in the Sahelian zone of West Africa. *Animal Feed Science and Technology*, 147: 97-110.
- Sehoubo YJ, Meda M, Kabre WO, Yelemou B. and Hien M: 2023. Characterization and structure of woody vegetation in agroforestry parks in the northern Sudanian zone of Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(2), 325–348. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i2.4>
- Sidi Imorou H, Babatounde S, Sidi Imorou F.

- and Mensah GA: 2016. Ligneux fourragers des parcours naturels communautaires du Nord-Bénin : prédiction de la valeur nutritive au moyen de plusieurs approches analytiques. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 29(1), 4537–4552. <http://www.m.elewa.org/JAPS>
- Traore LCG, Ouattara M, Sanou S, Sanon HO. et Bougouma-Yameogo V: 2023. Etude ethnobotanique des ligneux fourragers dans la commune de Guibaré au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(1), 77-93.
- Traore S, Ouedraogo-Kone S, Samake A, Traore MD. and Bengaly K: 2022. Associative effect between cottonseed cake and *Piliostigma reticulatum* (dc) Hochst pods on intake and digestibility of rice straw. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(3), 1071–1083. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i3.14>
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA: 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 74:3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Van Soest PJ: 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant, 476 pages, 2nd edn, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Yahaya MS, Kibon A, Aregheore EM, Abdulrazak SA, Takahashi J. and Matsuoka S: 2001. The evaluation of nutritive value of three tropical browse species for sheep using *in vitro* and *in vivo* digestibility. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14(4), 496-500. <https://doi.org/10.5713/ajas.2001.496>
- Yetongnon GAD, Severin B, Julien A, Marcel H, Sylvie A: 2013. Supplementing *Panicum maximum* with two medicinal forages in the diet of Djallonke sheep at the Benin national sheep center. *Scientific Journal of Animal Science*, 2(11), 285–295. <https://doi.org/10.14196/sjas.v2i11.10>
- 25
Zampaligré N, Dossa HL. and Schlecht E : 2013. Contribution of browse to ruminant nutrition across three agroecological zones of Burkina Faso. *Journal of Arid Environments*, 95, 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.03.011>.