



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effets de l'huile essentielle des rhizomes de *Zingiber officinale* sur la digestibilité *in vitro* du foin de *Pennisetum clandestinum*

Jules LEMOUFOUET^{1*}, Fernand TENDONKENG¹, Emile MIEGOUE¹,
Hippolyte MEKUIKO¹, Essie Ference Ndzani MATUMUINI²,
Bienvenu Zogang FOGANG³, Ghislain TCHELIBOU¹ et Etienne Tedonkeng PAMO¹

¹ Département des Productions Animales, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun.

² Institut Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologie (INSAB), Université des Sciences et Techniques de Masuku, B.P. 941 Franceville, Gabon.

³ Institut Supérieur de Technologies, Département de génie Alimentaire et de Control de qualité. Université de Ngaoundéré, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun.

*Auteur correspondant, E-mail : juleslemoft@yahoo.fr; jules.lemoufouet@univ-dschang.org

RESUME

L'efficacité du métabolisme azoté et énergétique pour répondre aux besoins des ruminants à haut niveau de production dépend de la digestion microbienne du rumen. Celle-ci pourrait être améliorée par l'utilisation des huiles essentielles (HE). L'objectif de ce travail est donc de contribuer à l'amélioration des connaissances sur la valorisation des huiles essentielles (HE) dans l'alimentation des ruminants. Cet essai portant sur l'effet de l'huile essentielle (HE) des rhizomes de *Zingiber officinale* sur les paramètres de digestibilité *in vitro* du foin de *Pennisetum clandestinum* a été mené au Laboratoire de Production et Nutrition Animales (LAPRONAN), de l'Université de Dschang. L'huile essentielle a été extraite des rhizomes de *Zingiber officinale* par la technique d'hydrodistillation. La ration était constituée de *Pennisetum clandestinum* (70%) et *Bidens pilosa* (30%). Trois doses (0, 40 et 80 µl) de l'huile essentielle ont été utilisées lors de l'incubation des différentes rations. Les résultats de cette étude ont montré que l'ajout de 40 ou 80 µl d'huiles essentielles n'a eu aucun effet significatif sur le volume de gaz produit (GP) après 24 h d'incubation, l'énergie métabolisable (EM), la production d'acide gras volatils (AGV) et la digestibilité de la matière organique (DIVMO). Par contre, la digestibilité de la matière sèche (DIVMS), la masse microbienne (MM) et l'azote résiduel (NDF-N) ont significativement ($p < 0,05$) baissé avec le niveau croissant d'incorporation d'huile essentielle. La quantité de matière organique fermentée pour produire 1ml de gaz (FC) des rations contenant 40 (4,4 mg/ml) ou 80 µl (4,41 mg/ml) d'huiles essentielles a été comparable ($P > 0,05$) mais significativement ($P < 0,05$) plus élevés que celle de la ration sans huile essentielle (2,44 mg/ml). De manière générale, l'incorporation de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* dans la ration n'a pas amélioré les paramètres de digestibilité chez les moutons.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Digestibilité *in vitro*, huile essentielle, *Pennisetum clandestinum*, *Zingiber officinale*.

Effects of essential oil rhizomes of *Zingiber officinale* on the *in vitro* digestibility of the hay of *Pennisetum clandestinum*

ABSTRACT

The efficiency of metabolic nitrogen and energy for better ruminant's production depends ruminal microbial digestion which could be improved by the use of the essential oil. This study aimed at improving the knowledge on the valorization of the essential oil within the ruminant's feeding. Thus, the study of the effects of essential oil (EO) of *Zingiber officinale* on the *in vitro* digestibility parameters of the *Pennisetum clandestinum* hay was conducted in the Laboratory of the Livestock Productions, Animal Nutrition and feeding of the University of Dschang. Essential oil was extracted from the rhizomes of *Zingiber officinale* by hydrodistillation technique. The ration consisted of *Pennisetum clandestinum* (70%) and *Bidens pilosa* (30%) associated with three doses (0, 40 and 80 µl) of essential oil of *Zingiber officinale* with sheep ruminal fluid. The results showed that the addition of 40 or 80 µl of essential oils did not have any significant effect on production of gases (PG) after 24 h of incubation, metabolized energy, the volatile fatty acid production and the *in vitro* digestibility of the organic matter. On the other hand, the *in vitro* digestibility of the dry matter, microbial mass and residual nitrogen decreased significantly ($p < 0.05$) with the increasing level of essential oil. The organic matter fermented for the production of 1 ml gas (partitioning factor) of rations containing 40 (4.4 mg/ml) or 80 µl (4.41 mg/ml) essential oils was comparable ($P > 0.05$) but, significantly ($P < 0.05$) higher than that of the ration without essential oil (2.44 mg/ml). Generally, the incorporation of essential oils in the ration did not improved digestibility parameters at the sheep.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: *In vitro* digestibility, essential oil, *Pennisetum clandestinum*, *Zingiber officinale*.

INTRODUCTION

L'efficacité du métabolisme azoté et énergétique pour répondre aux besoins des ruminants à haut niveau de production dépend de la digestion microbienne du rumen. La digestion ne pouvant être totale, elle conduit à des pertes azotées via l'urine, le lait et une perte énergétique par la production de méthane (Bayourthe et Ali, 2014). Ces pertes d'énergie pour le ruminant se situent entre 2 et 12% (Martin et al., 2010). Pour faire face à ces pertes, les extraits de plantes et les huiles essentielles en tant qu'alternatives naturelles aux antibiotiques facteurs de croissance, apparaissent comme de bons régulateurs du fonctionnement du rumen (Bayourthe et Ali, 2014). Les huiles essentielles pourraient être utilisées pour améliorer l'utilisation digestive des fourrages et favoriser la digestion et la digestibilité chez les ruminants (Aouadi et al., 2012).

Les huiles essentielles sont des mélanges de produits lipophiles, liquides et

volatils présents dans les plantes aromatiques. Elles sont généralement extraites par distillation (AFNOR, 1998). En agissant sur l'équilibre de la population microbienne, elles orientent des fermentations vers la formation de produits terminaux utiles pour l'organisme (Bayourthe et al., 2007). McIntosh et al. (2003) ont montré qu'un mélange d'huiles essentielles pourrait inhiber le taux de désamination des acides aminés et la quantité d'ammoniac produit, ce qui est bénéfique pour l'animal, lui permettant d'optimiser l'utilisation de l'azote disponible. Joch et al. (2016) ont montré que l'utilisation des composés actifs d'huiles essentielles comme les terpénoïdes aux doses de 40 ou 80 µl pour 40 ml d'inoculum diminue le volume de méthane produit et améliore la production d'acides gras volatiles. Cet effet positif pourrait également être observé dans le cadre d'une étude sur la digestibilité *in vitro* avec l'huile essentielle des rhizomes de *Zingiber officinale* qui a une teneur en terpénoïdes

supérieure à 85% des composés bioactifs (Mohammad et al., 2011).

C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée avec pour objectif principal de contribuer à l'amélioration des connaissances sur la valorisation des huiles essentielles dans l'alimentation des ruminants. Plus spécifiquement, il s'agissait de déterminer l'effet de l'huile essentielle des rhizomes de *Zingiber officinale* sur la digestibilité *in vitro* du foin de *Pennisetum clandestinum* associé à *Bidens pilosa* chez les ovins.

MATERIEL ET METHODES

Zone de l'étude

Le présent travail a été conduit au Laboratoire des Productions et de Nutrition Animales (LAPRONAN) de l'Université de Dschang. Dschang est située à 5°26' latitude Nord et 10°26' longitude Est, à une altitude de 1420 m. Le climat de la région est équatorial de type Camerounien, modifié par l'altitude. Les températures oscillent entre 10 °C (juillet-août) et 25 °C (février) avec une insolation annuelle de 1800 heures et une humidité relative variant entre 40 et 97%. Les précipitations varient entre 1500 et 2000 mm par an. La saison sèche va de mi-novembre à mi-mars et la saison des pluies de mi-mars à mi-novembre correspondant à la période des cultures. La végétation originelle est une savane arbustive avec par endroits des forêts galeries (Tendonkeng et al., 2011).

Matériel animal

Une brebis Djallonké adulte et vide, âgée de 18 mois a été utilisée comme donneuse du liquide ruminal pour cette étude. Cet animal était placé dans une loge munie d'une mangeoire et d'un abreuvoir, construite dans la bergerie sur pilotis au LAPRONAN. Un mois avant le début de l'essai, l'animal a été déparasité à l'Ivermectine 1% (1 ml/10 kg de poids vif), anthelminthique synthétique à large spectre actif sur les parasites gastro-intestinaux et pulmonaires adultes et larvaires.

Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué des rhizomes de *Zingiber officinale*. Les rhizomes de *Z. officinale* ont été récoltés dans la parcelle de culture à Santchou. Santchou est situé dans la région de l'Ouest Cameroun à 6°16' latitude Nord et 9°16' longitude Est, à une altitude de 1223 m et bénéficie d'un climat tropical. La température moyenne annuelle de cette zone est de 23,6 °C (le mois le plus chaud de l'année est celui de mars avec une température moyenne de 24,8 °C et celui le plus froid est le mois d'août avec une température moyenne de 22,1 °C). Il y tombe en moyenne 2478 mm de pluie par an (la différence de précipitation entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 418 mm. Le foin de *Pennisetum clandestinum* a été récolté au LAPRONAN de même que les feuilles fraîches de *Bidens pilosa*, récoltés au stade montaison.

Conduite de l'essai

Extraction de l'huile essentielle

L'huile essentielle de *Zingiber officinale* a été extraite au laboratoire de Physiologie et Santé Animales de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricole (FASA) par la technique d'hydrodistillation (Wang et al., 2006).

Collecte des échantillons de fourrages et formulation des rations

Après la récolte du matériel végétal un échantillon de 500 g de chaque fourrage a été prélevé, haché manuellement à l'aide d'une machette à une taille comprise entre 2-5 cm et séché à 60 °C jusqu'à poids constant dans une étuve ventilée de marque Gallemkamp. Après séchage, les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur à marteau munis d'une grille de maille 1 mm, puis conservés dans des sachets plastiques.

Trois traitements ont été utilisés dans cette étude à savoir :

- **Traitement 1:** foin de *Pennisetum clandestinum* (70%) + *Bidens pilosa*

(30%) + 0µl d'huiles essentielles de *Zingiber officinale* (0µl HEZO) ;

- **Traitement 2:** foin de *Pennisetum clandestinum* (70%) + *Bidens pilosa* (30%) + 40µl d'huiles essentielles de *Zingiber officinale* (40µl HEZO);
- **Traitement 3:** foin de *Pennisetum clandestinum* (70%) + *Bidens pilosa* (30%) + 80µl d'huiles essentielles de *Zingiber officinale* (80µl HEZO).

500 g d'échantillon ont été prélevés et conservés pour les analyses de la composition chimique de la ration et la digestibilité *in vitro*.

Composition chimique de la ration

L'analyse de la composition chimique (Tableau 1) de la ration a été effectuée en vue de déterminer les teneurs en matière sèche (MS), cendres, matière organique (MO), cellulose brute, lipides, parois cellulaires (NDF) et matières azotées totales (MAT). Ces analyses ont été faites selon les méthodes décrites par AOAC (2000) et Van Soest (1991).

Digestibilité *in vitro*

La phase d'adaptation pour l'évaluation de la digestibilité *in vitro* a duré 10 jours. Chaque matin, l'animal recevait 800g d'aliment en raison de 50% de foin et 50% de fourrage frais constitué des feuilles de *Pennisetum purpureum* préfanés et hachés. Soit 400 g de foin de *Pennisetum clandestinum* et 400 g de fourrage frais. L'eau était distribuée *ad libitum*.

La dégradation *in vitro* a été faite selon la méthode et la procédure décrites par Menke et al. (1979) modifiées par Makkar (2002).

L'incubation a duré 24 heures et les volumes de gaz produit ont été relevés à 0 ; 3 ; 6 ; 9 ; 12 ; 18 et 24h. La production de gaz a été calculée et corrigée d'après la formule proposée par Menke et Steingass (1988).

$$GP \text{ (ml/200mg MS)} = \frac{(V_{24} - V_o - GP_o) \times 200\text{mg} \times GP_h}{m \times MS}$$

avec :

V_{24} = Volume de gaz lu après 24 heures d'incubation ;

V_o = Volume de l'inoculum dans la seringue au début de l'incubation ;

GP_o = Volume de gaz produit par le blanc après 24 heures d'incubation ;

GP_h = Volume de gaz produit par le standard après 24 heures d'incubation ;

M = Poids de l'échantillon incubé.

Évaluation de la digestibilité *in vitro* de la matière sèche (DIVMS)

Les résidus après le traitement au NDS ont été utilisés pour la détermination de l'azote résiduel (NDF-N) par la méthode de Kjeldahl.

La DIVMS a été obtenue par la différence entre le poids du substrat incubé et le poids du résidu non dégradé après le traitement au NDS à la fin de l'incubation à partir de la formule suivante (Steele et Torrie, 1980):

$$\text{DIVMS (\%)} = \frac{P_e - R}{P_e} \times 100, \text{ où :}$$

P_e = poids de l'échantillon incubé ;

R = Poids de l'échantillon après incubation.

Évaluation de la digestibilité *in vitro* de la matière organique (DIVMO) et énergie métabolisable (EM)

Après 24 heures d'incubation, les gaz produits et corrigés par les gaz des tubes témoins ont été utilisés pour calculer la digestibilité *in vitro* de la matière organique (DIVMO) en utilisant l'équation de régression de Menke et Staingass (1980). Quant à l'énergie métabolisable (EM), elle a été calculée selon l'équation proposée par Makkar (2002):

$$\text{DIVMO (\%)} = 14,88 + 0,889 \text{ GP} + 0,0651 \text{ C}$$

$$\text{EM (MJ/Kg MS)} = 2,20 + 0,136 \text{ GP} + 0,057 \text{ PB}, \text{ avec :}$$

GP = Quantité de gaz produit après 24 heures d'incubation ;

PB = Protéine Brute ;

C = Cendres.

Détermination du facteur de cloisement, de la masse microbienne, et des acides gras volatils

Le facteur de cloisement (FC) qui est la quantité de la matière organique fermentée qui produit 1 ml de gaz a été obtenu par calcul à partir de la formule proposée par Makkar (2002):

$$FC (mg/ml) = \frac{MOD}{GP}$$

où: MOD (mg) = Matière Organique Dégradée;

GP (ml) = Quantité de Gaz produits après 24 heures d'incubation.

La masse microbienne a été calculée à partir de la formule proposée par Makkar (2002):

$$MM (mg) = MOD - (GP \times FS), \text{ avec:}$$

MOD (mg) = Matière Organique Dégradée;

GP (ml) = Quantité de Gaz Produit après 24 heures d'incubation ;

FS = Facteur stoechiométrique (2,20 pour les fourrages).

Les Acides Gras Volatils (AGV) ont été obtenus par calcul à partir de la formule proposée par Makkar (2002):

$$AGV (mmol/ml) = 0,0239 GP - 0,0601$$

Où: GP (ml) = Quantité de gaz produit après 24 heures d'incubation.

Analyse statistique

Les paramètres de digestibilité ont été soumis à l'analyse de variance (ANOVA) à un facteur selon le Modèle Linéaire Général (MGL). Lorsque les différences existaient entre les différents traitements, les moyennes étaient séparées par le test de Duncan au seuil de signification 5% (Steele et Torrie, 1980). Le logiciel statistique SPSS 20.0 a été utilisé à cet effet.

Tableau 1: Composition chimique du foin de *Pennisetum clandestinum*.

Composition chimique	Quantité	Teneur en nutriment	Quantité
Matière sèche (%)	95,04	dMO(% MS)	36
(% MS)		MAD (g/100gMOD)	14
Cendre	16,93	UFL/kgMS	0,7
Matière organique (MO)	83,07	UFV/kgMS	0,6
Matière azotée totale (MAT)	17,52		
Lipides	2,15		
Cellulose brute (CB)	31,36		
Parois cellulaire (NDF)	84,34		
Glucides totaux (GT)	63,40		

dMO: digestibilité de la matière organique; MAD: matière azotée digestible; UFL: unité fourragère lait; UFV: unité fourragère viande.

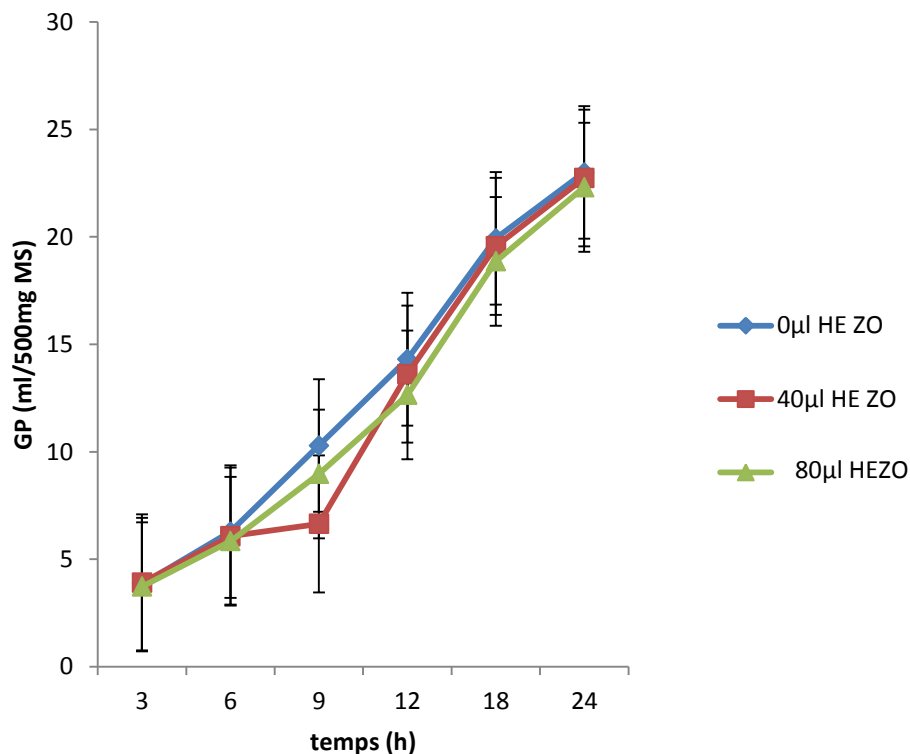
RESULTATS

Production des gaz

La production de gaz des différentes rations a gardé la même tendance au cours des 24 h d'incubation (Figure 1). La production de gaz entre la 3^{ème} et la 6^{ème} heure est la même tant avec la ration sans huile essentielle qu'avec la ration incubée avec différents niveaux d'huiles essentielles. Entre la 6^{ème} et la 12^{ème} heure, la production de gaz la plus faible a été obtenue avec la ration contenant 40 µl d'huile essentielle. En revanche, de la 12^{ème} à la 24^{ème} heure, les volumes de gaz produits sont restés comparables quel que soit le niveau d'incorporation d'huile essentielle à la ration.

Digestibilité

Les différentes doses d'huiles essentielles n'ont eu aucun effet significatif sur le volume de gaz produit (GP) après 24 h d'incubation, l'EM, la production d'AGV et la DIVMO (Tableau 2). Par contre, la DIVMS et la MM ont significativement ($p < 0,05$) baissé avec d'huile essentielle. De même, l'azote résiduel (NDF-N) a significativement ($p < 0,05$) baissé avec le niveau croissant d'huile essentielle. La quantité de matière organique fermentée pour produire 1ml de gaz (FC) des rations contenant 40 ou 80 µl d'huiles essentielles a été comparable ($P > 0,05$) mais significativement ($P < 0,05$) plus élevées que celle de la ration sans huile essentielle.



0µl HE ZO (témoin) = foin de *P. clandestinum* associé à *B. pilosa* ; 40µl HE ZO = foin de *P. clandestinum* associé à *B. pilosa* +40µl d'huile essentielle de *Z. Officinale* ; 80µl HE ZO = foin de *P. clandestinum* associé à *B. pilosa* +80µl d'huile essentielle de *Z. officinale* ; GP = gaz produit.

Figure 1: Effet de l'huile essentielle des rhizomes de *Z. officinale* sur l'évolution de la production des gaz.

Tableau 2: Effet de l'huile essentielle des rhizomes de *Z. officinale* sur les paramètres de digestibilité *in vitro* du foin de *P. clandestinum* associé à *B. pilosa* incubé avec le liquide ruminal ovin

Rations	GP après 24h (ml/500mg)	EM (MJ/kgMS)	MM (mg)	FC (mg/ml)	AGV (mmol/40 ml)	DIVMS (%)	DIVMO (%)	NDF-N (g/kgMS)
0µl HE ZO	23,00 ^a	6,32 ^a	244,4 ^a	2,44 ^b	0,48 ^a	62,56 ^a	44,31 ^a	1,11 ^a
40µl HE ZO	22,74 ^a	6,29 ^a	202,9 ^b	4,40 ^a	0,48 ^a	50,09 ^b	44,08 ^a	1,04 ^b
80µl HE ZO	22,31 ^a	6,23 ^a	201,2 ^b	4,41 ^a	0,47 ^a	49,23 ^b	43,70 ^a	0,90 ^c
ESM	0,16	0,02	7,06	0,32	0,00	2,16	0,14	0,33
P	0,24	0,24	0,00	0,00	0,24	0,00	0,24	0,00

a, b et c : Les valeurs affectées de la même lettre sur la même colonne ne diffèrent pas significativement ($p > 0,05$). 0µl HE ZO (témoin) = foin de *P. clandestinum* associé à *B. pilosa* ; 40µl HE ZO = foin de *P. clandestinum* associé à *B. pilosa* + 40µl d'huile essentielle de *Z. Officinale* ; 80µl HE ZO = foin de *P. clandestinum* associé à *B. pilosa* + 80µl d'huile essentielle de *Z. officinale* ; ESM : Erreur standard de la moyenne ; P = Probabilité. GP = gaz produit ; EM = énergie métabolisable ; MM = masse microbienne ; FC = facteur de cloisement ; AGV = acides gras volatils ; DIVMS = digestibilité *in vitro* de la matière sèche ; DIVMO = digestibilité *in vitro* de la matière organique ; NDF-N = azote résiduel.

DISCUSSION

La production de gaz des rations après 24h d'incubation n'a pas été significativement influencée par le niveau d'incorporation de l'huile essentielle de *Zingiber officinale*. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Arhab et al. (2013) avec les huiles essentielles de *Juniperus phoenica* et *Satureja calamintha* et, de ceux de Sallam et al. (2009) avec l'huile essentielle de *Eucalyptus citriodora* ; mais différents de ceux rapportés par Arhab et al. (2013) avec l'huile essentielle de *Mentha pulegium*. La faible production de gaz des rations incubées avec différents niveaux de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* serait due à l'activité antimicrobienne des composés d'huiles essentielles. En effet, les terpènes à dose modérée que l'on retrouve dans l'huile essentielle de *Z. officinale* (Mohammad, 2011) ainsi que dans les huiles essentielles de *J. phoenica* (Derwich et al., 2010) et de *S. calamintha* (Satrani et al., 2011) ont des propriétés antimicrobiennes. Ils peuvent également agir individuellement ou en synergie pour inhiber de façon sélective l'activité des microorganismes et limiter les

fermentations. Par ailleurs, il est à remarquer que les huiles essentielles de *J. phoenica*, *S. calamintha* et de *M. pulegium* réduisent la quantité de méthane, ce qui participe à la réduction du volume de gaz produit (Arhab et al., 2013).

La masse microbienne (MM) a significativement ($p < 0,05$) baissée avec l'ajout d'huile essentielle. La plus faible valeur de MM a été enregistrée avec la plus forte dose (80 µl) d'huile essentielle. Ceci corrobore les résultats de Hart (2008) qui ont observé que l'intensité de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles est fortement liée à la concentration utilisée. Aussi, Calsamiglia (2007) a révélé que certaines huiles essentielles inhibent la croissance microbienne par l'inactivation des acides nucléiques.

La quantité de matière organique fermentée pour produire 1 ml de gaz (FC) a été significativement plus élevée ($p < 0,05$) pour les rations contenant l'huile essentielle de *Z. officinale*. Ceci serait dû à la diminution significative de la MM avec l'augmentation de la dose d'huiles essentielles. Cette diminution peut être attribuée à la présence

dans cette huile (*Z. officinale*) des composés ayant une activité antimicrobienne et dont leur action entraîne une baisse de la masse microbienne et du FC. De même, l'huile essentielle inhiberait la plupart des microorganismes (Hart, 2008); ce qui entraînerait une baisse du niveau d'activité et de synergie entre divers groupes de microorganismes impliqués dans la dégradation des fourrages.

La production d'acide gras volatils (AGV), la digestibilité *in vitro* de la matière organique (DIVMO) et l'énergie métabolisable (EM) sont comparables ($p > 0,05$) entre la ration incubée sans huile essentielle et celles incubées avec 40 μ l ou 80 μ l d'huile essentielle de *Z. officinale*. Ces résultats sur la production d'AGV et la DIVMO sont en accord avec ceux de (Benchaar et al., 2008) qui ont observé que l'augmentation de la dose d'huile essentielle diminuait la production d'AGV et la DIVMO, ceci dû au fait qu'à des concentrations élevées, les composés d'huiles essentielles entraîneraient la défaunation, ce qui serait à l'origine de la baisse de l'activité fermentaire des microorganismes et, par conséquent, de la diminution de la digestibilité et de la production des AGV. Cette évolution de la production d'AGV et de la DIVMO pourrait également être liée aux variations de pH tel qu'observé dans les travaux de Hundal et al. (2016) qui ont montré que l'utilisation des HE aux doses élevées entraîne une baisse de la production d'AGV, entraînant une augmentation du pH ruminal et créant, par conséquent, un microbiote incompatible avec l'activité fermentaire.

La digestibilité *in vitro* de la matière sèche (DIVMS) a significativement ($p < 0,05$) baissée avec l'incubation de différentes rations contenant de l'huile essentielle. Ce résultat diffère de celui obtenu par Sallam et al. (2009) qui n'ont pas observé de différence significative ($p < 0,05$) entre la ration témoin et la ration incubée avec l'huile essentielle de *Eucalyptus citriodora*. Il est, cependant, proche des résultats de Hundal et al. (2016) enregistrés avec les huiles essentielles d'origan. Ceci s'expliquerait par la dose et la composition chimique de l'huile essentielle

utilisée. Cette dernière varie avec les conditions comme la nature du sol, l'origine géographique, le climat, l'altitude (Dudareva et al., 2004), l'état physiologique de la plante, ainsi que l'organe de la plante utilisée pour extraire l'huile essentielle (Delaquis et al., 2002). Ces résultats pourraient également être liés à la présence des composés oxygénés dans les huiles essentielles de *Z. officinale*. Ces composés ayant une activité antimicrobienne auraient inhibé les fermentations ruminales.

Conclusion

Au terme de cette étude portant sur l'effet de l'huile essentielle des rhizomes de *Zingiber officinale* sur la digestibilité *in vitro* du foin de *Pennisetum clandestinum*, il ressort que les paramètres de la digestibilité *in vitro* de la ration ont varié quelle que soit la dose d'huile essentielle considérée. En effet, la production de gaz et d'AGV, la DIVMO ainsi que l'EM de la ration n'ont pas été significativement ($p > 0,05$) influencées par l'ajout de 40 μ l; la MM, la DIVMS, le FC et le NDF-N de la ration ont été significativement ($p < 0,05$) influencés par l'huile essentielle de *Z. officinale*. Nous suggérons l'utilisation des huiles essentielles de *Z. officinale* pour améliorer l'alimentation des petits ruminants lorsque ceux-ci sont nourris au foin de *Pennisetum clandestinum* associé au *Bidens pilosa*.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas de conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

JL, FT et EM : Elaboration du projet et rédaction scientifique ; HM et GT : Collecte des données ; EFN et BZF: relecture ; ETP : coordination générale et conseil scientifique.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent au Laboratoire de Production et de Nutrition Animales (LAPRONAN) de l'Université de Dschang pour l'accompagnement technique de cette étude.

REFERENCES

- AFNOR (Association Française de Normalisation). 1998. Norme française de catalogage édition 11. Avenue Francis de Pressensé, 93571 Saint-Denis La plaine Cedex.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2000. *Official Methods of Analysis* (17th edn): AOAC. Washington D.C.
- Aouadi D, Ben SH. 2012. Effets de l'administration des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* et de *Artemisia herba alba* sur l'ingestion et la digestion des béliers de race. *Renc Rec Ruminants*, **19**.
- Arhab R, Khenaka K, Leulmi N, Belaidi H, Harzallah B, Bousseboua H. 2013. Effect of essential oils extracted from *Satureja calamintha*, *Menthapulegium* and *Juniperus phoenicea* on *in vitro* methanogenesis and fermentation traits of vetch-oat hay. *African Journal of Environmental Science and Technology*, **7**(4): 140-144.
- Bayourthe C, Ali-Haimoud-Lekhal D. 2014. Les extraits de plantes chez le ruminant: effets sur les fermentations dans le rumen et la qualité lipidique des produits animaux. *INRA Productions Animales*, **27**(4): 317-328.
- Bayourthe C, Noirot V, Moncoulon, Sauviant D. 2007. Effet d'une supplémentation en huiles essentielles et composés d'huiles essentielles chez le ruminant: analyse statistique. *Revue méditerranéenne Vétérinaire*, **158**(12): 89-597.
- Benchaar C, Calsamiglia C, Chaves AV, Fraser GR, Colombatto D, Mc Allister TA and Beauchemin KA. 2008. A Review of Plant-Derived Essential Oils in Ruminant Nutrition and Production. *Animal Feed Science and Technology*. **145**: 209-228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014>
- Calsamiglia S, Busquet M, Cardozo PW, Castillejos L and Ferret A. 2007. Invited Review: Essential Oils as Modifiers of Rumen Microbial Fermentation. *Journal of Dairy Science*, **90**: 2580-2595. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>
- Delaquis RJ, Stanich K, Girard B, Massa G. 2002. Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander and eucalyptus essential oils. *International Journal of Food Microbiology*, **74**: 101-109.
- Derwich E, Benziane Z, Boukir A. 2010. GC/MS Analysis and Antibacterial Activity of the Essential Oil of *Mentha Pulegium* Grown in Morocco. *Research Journal Agricultural Biology Sciences*, **6**(3): 191-198. DOI: <http://www.insipub.com/.../191-198.pdf>
- Dudareva N, Pichersky E, Gershenzon J. 2004. Biochemistry of plants volatiles. *Plant Physiology*, **135**: 1893-1902.
- Hart KJ, Yáñez-Ruiz DR, Duval SM, McEwan NR, Newbold CJ. 2008. Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, **147**: 8-35.
- Hundal JS, Wadhwa M, Bakshi MPS. 2016. Effect of supplementing essential oil on the *in vitro* methane production and digestibility of wheat straw. Department of Animal nutrition, Guru AngadDev Veterinary and Animal Science University, Ludhiana-141004, India **1**(3): 14.
- Joch M, Cermak L, Hakl J, Hucko B, Duskova D and Marounek M. 2016. *In vitro* Screening of Essential Oil Active Compounds for Manipulation of Rumen Fermentation and Methane Mitigation Asian Australas. *Journal of Animal Sciences*, **29**(7): 952-959.
- Makkar HPS. 2000. Application of the *in vitro* method in the evaluation of feed resources, and enhancement of nutritional value of tannin-rich tree/browse leaves and agro-industrial by-products. In: *Development and field evaluation of Animal Feed supplementation packages*. Proceeding of the final review meeting of an IAEA Technical Co-operation Regional AFRA Project organized by the Joint

- FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Cairo, Egypt, 25(29): 23-40.
- Martin C, Morgavi DP, Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, **4**: 351-365.
- McIntosh F, Williams P, Losa R, Wallace RJ, Beever D, Newbold CJ. 2003. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. *Applied and Environmental Microbiology*, **69**: 5011-5014.
- Menke KH, 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.
- Menke KH, Raab L, Salewski A, Steingass H, Fritz D, Schneider W. 1979. The estimation of digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from gas production when they are incubated with rumen liquor. *Journal of Agricultural Science*, **93**: 217-222.
- Mohammad BH, Mohammad AA, Mohammad SS, Doulati Baneh. 2011. Essential oil composition of *Zingiber officinale* Rosc. Rhizome from the Iranian herb market. *Chemija*, **22**(1): 56-59.
- Sallam SMA, Bueno ICS, Brigide P, Godoy PB, Vitti DMSS, Abdalla AL. 2009. Efficacy of eucalyptus oil on *in vitro* rumen fermentation and methane production. *Options Méditerranéennes*, **85**: 267-272.
- Satrani B, Abdellah F, Fechtal M, Talbi M, Blaghen M, Chaouch A. 2011. Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Satureja calamintha* et *Satureja alpine* du Maroc. *Ann. Fals. Exp. Chim.*, **94**(956): 241-250.
- Steele RG, Torrie JH. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. McGraws Hill Book C: New York; 666p.
- Tendonkeng F, Boukila B, Pamo TE, Mboko AV, Zogang FB, Matumuini NEF. 2011. Effets direct et résiduel de différents niveaux de fertilisation azotée sur la composition chimique de *Brachiaria ruziziensis* à la floraison à l'Ouest Cameroun. *International Journal of Biological and Chemistry Science*, **5**(2): 570-585. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i2.72115>
- Van Soest JP, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, **74**: 3583-3597.
- Wang L, Waller C. 2006. Recent advanced in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and technology*: 1-13.