

# MESURE DE LA DIGESTIBILITE ALIMENTAIRE DE DEUX VARIETES DE SORGHO A DOUBLE USAGE PAR LA METHODE IN VITRO : GAZ TEST DE HOHENHEIM

Adama Konaté<sup>1\*</sup>, Niaba Tèmè<sup>2</sup>, Bara Ouologuem<sup>2</sup>, Youssouf Sanogo<sup>1</sup>, Diakaridia Traoré<sup>1</sup>, Mamadou Camara<sup>3</sup> et Fassé Samaké<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, BP E : 3206, Mali ; Email : kadamous@gmail.com

<sup>2</sup>Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sotuba, Institut d'Economie Rurale, BP : 2034, Mali ; Email : baraouologuem@yahoo.fr

<sup>3</sup>Centre de Formation Pratique en Elevage, Ministère de l'Elevage et de la Pêche, Mali

<sup>4</sup>Institut des Sciences Appliquées, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

\*Adresse de correspondance : kadamous@gmail.com

**RESUME :** Dans le cadre de la valorisation du sorgho pour la culture fourragère, la composition chimique, les paramètres de fermentations dans les seringues, à savoir la production de gaz total, l'énergie métabolisable (EM) et la digestibilité de la matière organique (dMO) des fourrages de deux variétés de sorgho à double usage (*Segifa* et *Tiandougou*) ont été évalués dans les parcelles d'expérimentation des agropasteurs de Cinzana et de Katiéna au Mali. La teneur en matières azotées totales (MAT) était statistiquement comparable ( $P>0,05$ ) pour les deux types de fourrage, *Segifa* (4,83% de MS) et *Tiandougou* (3,95% de MS). Le volume de gaz produit après 24 heures d'incubation n'a pas montré de différence statistique entre les deux variétés. Les valeurs moyennes de l'EM et de la dMO n'ont pas montré de différences significatives ( $P>0,05$ ) entre les fourrages des deux variétés de sorgho. La digestibilité de la matière organique a été de  $49,75 \pm 2,92\%$  de MS pour *Segifa* et  $50,18 \pm 2,1\%$  de MS pour *Tiandougou*. La valeur énergétique des fourrages a été de 0,62 UFL pour *Segifa* et 0,63 UFL pour *Tiandougou*. Au regard de ces résultats, les deux variétés de sorgho présentent une bonne valeur énergétique et peuvent être conseillées aux producteurs d'aliment bétail.

**Mots clés :** énergie métabolisable, digestibilité, sorgho à double usage, valeur nutritive, Mali.

## I. INTRODUCTION

La détermination de la valeur nutritive des aliments fournit les informations précieuses pour la formulation d'une ration alimentaire équilibrée. Plusieurs méthodes sont employées pour déterminer la valeur alimentaire d'un aliment. Il s'agit des méthodes biologiques, chimiques, physiques, enzymatiques et de production de gaz.

Quelle que soit la méthode retenue, les analyses des aliments sont toujours importantes. Elles permettent de mieux anticiper les problèmes de production et de planifier les rations afin de les équilibrer pour que les vaches expriment tout leur potentiel. La digestibilité est l'un des paramètres essentiels pour apprécier la valeur alimentaire des fourrages destinés aux ruminants [1].

Actuellement, la méthode de production de gaz est considérée comme une technique de routine dans l'évaluation de la valeur nutritive des aliments.

La valeur nutritive des aliments destinés à l'alimentation des animaux est caractérisée en Afrique subsaharienne par sa grande variabilité. Pour mieux valoriser la productivité, il est donc indispensable de trouver des méthodes rapides et efficaces pour apprécier la valeur nutritive des aliments afin d'aboutir rapidement à des recommandations concrètes au bénéfice des agropasteurs. Plusieurs méthodes *in vitro* sont mises en œuvre à travers la recherche [2]. La dégradabilité du fourrage en sachet nylon incubée dans le rumen donne des résultats fortement corrélés avec les performances des animaux [3]. La digestibilité *in vitro* en deux temps [4] couramment utilisée donne également des résultats intéressants. La production de gaz *in vitro* en utilisant le jus de rumen par la technique de Menke est utilisée pour déterminer la quantité de gaz produit pendant une période d'incubation à la

température de 40°C. Le volume du gaz produit est corrélé avec la digestibilité de l'aliment. Cette méthode indirecte permet de raccourcir le délai de détermination de la digestibilité des aliments par rapport aux méthodes classiques. La présente étude a pour but d'évaluer la digestibilité alimentaire de deux variétés de sorgho à double usage par la méthode in vitro de gaz test de Hohenheim.

## II. MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Site

Cette étude a été réalisée dans les communes de Cinzana et de Katiéna dans la région de Ségou. Les deux communes sont situées au Sud-Est du cercle de Ségou. Le climat qui caractérise les communes de Cinzana et de Katiéna est de type sahélien avec des températures maximales de l'ordre de 44,55 °C en avril-mai et des minimales de 12°C en décembre-janvier. La pluviosité moyenne annuelle varie entre 404 à 959,8 mm avec une moyenne annuelle pondérée de 660 mm à Katiéna et 750 mm à Cinzana [5].

L'élevage est le compagnon naturel de l'agriculture dans les communes de Cinzana et de Katiéna.

### 2.2 Analyse bromatologique et digestibilité

Le matériel d'étude est constitué de 15 échantillons de fourrages par variété (*Segifa* et *Tiandougou*) prélevés dans les parcelles d'expérimentation des agropasteurs dans les communes rurales de Cinzana et Katiéna dans la région de Ségou. Ces deux variétés de sorgho sont dépourvues d'anthracnose (tan). La variété *Tiandougou* est légèrement sensible à la photopériode alors que *Segifa* est peu sensible. La hauteur des plants atteint 1,75 mètre pour *Tiandougou* et 2 mètres pour *Segifa*. Les deux variétés sont tolérantes au striga et à la verse avec un cycle semis-maturité de 100 jours pour *Segifa* et 120 jours pour *Tiandougou*.

Au laboratoire, les déterminations ont porté sur la matière sèche, les cendres, la cellulose brute (Wendee), les matières azotées totales (Kjeldahl) et la matière grasse (Soxhlet) en utilisant les méthodes de référence [6]. Ces paramètres ont été analysés au Laboratoire de Nutrition Animale du CRRA de Sotuba et au Laboratoire de Zootechnie de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin.

Cinq moutons Djallonké pesant environ 20 kg chacun ont été utilisés comme animaux donneurs de jus de rumen. Chaque animal porte une canule de 4 cm au rumen devant servir à l'extraction du jus. Les animaux sont en stabulation entravée et nourris ad libitum avec une ration à base de foin de *Panicum maximum* var. C1 complémentée avec des concentrés (Aliment complet lapin engraissement). Le jus de rumen est prélevé le matin (Jour de test) avant la distribution des aliments et le fluide de rumen mélangé est conservé dans des Thermos

pour conserver la température du rumen peu après le prélèvement.

En ce qui concerne l'incubation, le poids de la prise d'essai a varié de 250 mg à 300 mg. Chaque échantillon est répété trois fois puis, chaque prise d'essai est mise dans une seringue à piston graduée de 0 à 100 ml. La seringue est équipée d'un robinet muni de fermeture. Les pistons qui bloquent l'écoulement du mélange aliment-jus sont lubrifiés à la vaseline avant chaque incubation.

Le jus de rumen est ensuite filtré à l'aide d'un tamis de 246 µm puis mélangé à la solution tampon. Le mélange est maintenu à 40°C et barboté avec du CO<sub>2</sub> tout au long de la manipulation.

Trois seringues blanco contenant uniquement le mélange jus de rumen - solution tampon sont associées à chaque série d'incubation. La production moyenne de gaz dans ces seringues est appelée la valeur blanco (Vb). Elle indique le volume de gaz provenant de la fermentation des composants du jus de rumen et permet de corriger la production de gaz de la prise d'essai.

### 2.3 Suivi et lecture du niveau de la production de gaz

A partir du temps t<sub>0</sub>, la position du piston est lue successivement aux heures suivantes : +2 ; +4 ; +6 ; +8 ; +12 ; +24 ; +48 ; +72 ; +96 ; +120.

Ainsi, le premier jour d'incubation, 6 lectures sont effectuées. La lecture pour le temps + 24 heures est à faire le lendemain à la même heure que celle du temps t<sub>0</sub> de la veille. Si le volume de gaz produit après 24 heures excède 80 ml, la valeur est notée, la seringue est retournée, le robinet vers le haut, et l'ouverture de celui-ci permet d'expulser le gaz en ramenant le piston à la graduation initiale V(t = 0). Cette nouvelle position du piston est lue et notée.

Après chaque lecture, un léger mouvement est imprimé à chaque seringue afin de mélanger le milieu d'incubation. La lecture de la position du piston se poursuit jusqu'au moment où la production de gaz devient constante.

Chaque série d'incubation a nécessité six jours de lecture. Cette durée d'incubation propre à l'aliment testé est le temps nécessaire pour leur dégradation.

### 2.4 Calcul et modélisation des cinétiques de gaz

Le volume de gaz produit au temps t par gramme de MSa de l'aliment est déterminé par la formule de l'équation 1.

$$\frac{V(t)\text{ml}}{\text{gMS}} = \frac{[Vlu(t) - V(to) - (Vb(t) - Vb(to))]}{PE \times \text{MSa}} \times 1000 \times 100 \quad (1)$$

avec V(t) : le volume de gaz produit au temps t (ml) par g de MS

Vlu(t) : le volume lu au temps t (ml)

V(to) : le volume initial (ml) lu avant le début de l'incubation

Vb(t) : le volume produit par les seringues blanco au temps t (ml)

$Vb(to)$  : le volume initial des seringues blanco

$MSa$  : le pourcentage de matière sèche analytique (%)

$PE$  : la prise d'essai (mg).

Les cinétiques de production de gaz sont ajustées au modèle mathématique de France et *al.* [7]. Ces auteurs ont proposé un modèle qui met en relation la dégradation du fourrage dans le rumen et la production de gaz. L'équation du modèle établit une courbe cinétique théorique à partir des valeurs observées de volume de gaz. Le calcul est réalisé par itérations successives jusqu'à la minimisation de la somme des carrés des écarts résiduels.

Les paramètres issus de la modélisation sont les volumes théoriques, le volume final, le temps de latence et les taux fractionnels de production de gaz.

La digestibilité de chaque échantillon est déterminée en combinant le volume de gaz après 24 heures donné par le modèle de France et *al.* [7]. et les résultats d'analyses bromatologiques (MAT et Cellulose brute).

Les énergies brute (EB) et métabolisable (EM) sont calculées respectivement avec les équations 2 [8] et 3 [9].

$$EB = 4516 + 1,646 \times MAT + 29 \quad (2)$$

$$EM(kcal/kgMS) = \frac{(0,15 + 0,1557 \times dMO + 0,0130 \times CT)}{4,18} \times 1000 \quad (3)$$

### 2.5 Analyse des données

La composition chimique des deux variétés de sorgho a été soumise à une analyse de comparaisons des moyennes.

Les volumes de gaz produits à 24 et 120 heures ont été soumis à des analyses de la variance à 2 critères de classification (variété et année).

## III. RESULTATS

### 3.1 Composition chimique des fourrages de sorgho

Les résultats d'analyse des fourrages et du « tourteau de coton » sont indiqués dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Composition bromatologique des fourrages, valeurs moyennes en pourcentage (%)

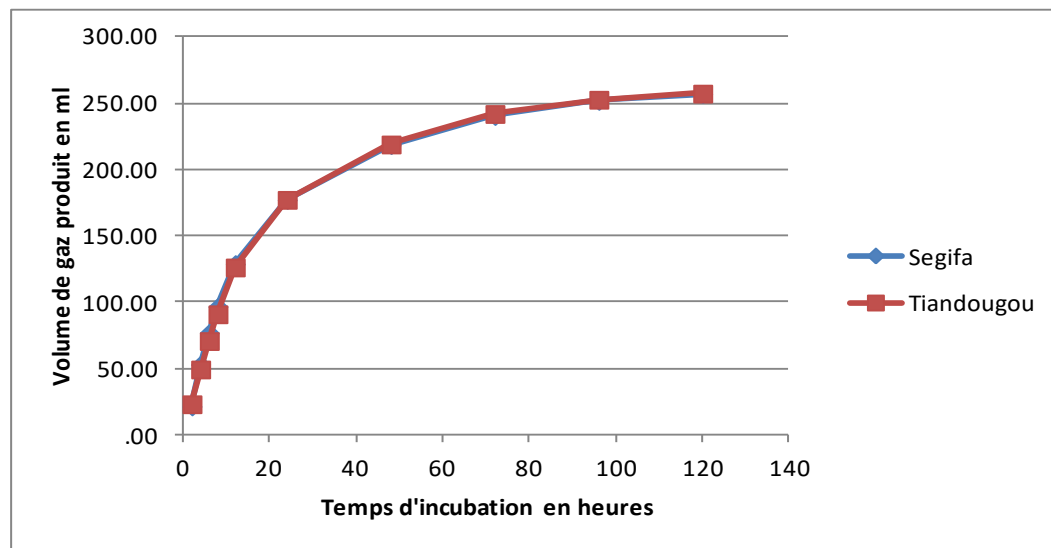
Campagne	Nature de l'échantillon		Matière Sèche %	Cendres %	Cellulose %	Protéines %	Matière grasse %	ENA %
2011/2012	<i>Segifa</i>	Moyenne (Ecart type)	44,00 (18,35)	7,25 (1,58)	34,44 (3,30)	6,57 (4,00)	1,49 (0,78)	50,25 (6,38)
	<i>Tiandougou</i>	Moyenne (Ecart type)	40,00 (8,62)	8,59 (1,00)	33,83 (3,51)	6,14 (2,08)	1,08 (0,58)	50,36 (4,36)
2012/2013	<i>Segifa</i>	Moyenne (Ecart type)	41,66 (11,81)	4,78 (0,93)	32,83 (3,08)	3,09 (0,67)	0,97 (0,53)	58,33 (3,56)
	<i>Tiandougou</i>	Moyenne (Ecart type)	47,86 (6,16)	6,49 (0,93)	38,41 (3,00)	3,22 (1,30)	0,94 (0,53)	50,94 (3,16)
Moyenne	<i>Segifa</i>	<b>Moyenne (Ecart type)</b>	<b>42,83 (15,02)</b>	<b>6,01 (1,82)</b>	<b>33,64 (3,20)</b>	<b>4,83 (3,24)</b>	<b>1,23 (0,69)</b>	<b>54,29 (6,52)</b>
	<i>Tiandougou</i>	<b>Moyenne (Ecart type)</b>	<b>45,89 (7,29)</b>	<b>7,02 (1,24)</b>	<b>37,27 (3,55)</b>	<b>3,95 (1,93)</b>	<b>0,97 (0,51)</b>	<b>50,79 (3,28)</b>

ENA – Extractif non azoté

Dans l'ensemble, les fourrages des deux variétés de sorgho sont pauvres en protéines. En plus, pour les paramètres comme la matière sèche, les protéines brutes, la matière grasse, les cendres, il n'y a pas de différence statistiquement significative ( $P > 0,05$ ) entre les fourrages des deux variétés de sorgho. Par contre, les deux variétés sont statistiquement différentes pour leur teneur en celluloses brutes ( $P = 0,008$ ) au seuil de 5%.

### 3.2 Cinétiques de production de gaz

Le volume final de gaz est obtenu après 120 heures d'incubation à partir desquelles, l'essentiel des nutriments du fourrage est dégradé. Les niveaux de production de gaz sont presque identiques pour les deux variétés (figure 1).



**Figure 1** : Cinétiques de production de gaz en fonction du temps d'incubation

Les volumes de gaz enregistrés se répètent très bien au regard des valeurs des écart-type des données présentées dans le tableau 2.

Il n'y a pas d'interaction entre la variété et le temps de latence pour le développement et l'augmentation de la concentration en enzymes de la population microbienne. L'analyse de variance ne montre pas de différence statistiquement significative entre les deux fourrages de sorgho.

Des paramètres cinétiques de production de gaz des deux variétés de sorgho à double usage cultivées pendant les trois campagnes agricoles sont présentés au tableau 2.

Les paramètres comme le temps de latence, le volume de gaz final au niveau des deux variétés de sorgho à double usage ne varient pas selon l'espèce au seuil de 5%.

**Tableau 2** : Paramètres cinétiques de production de gaz des fourrages de sorgho à double usage pendant les trois campagnes de 2011 à 2014

Variété	nombre échantillon	Temps de latence en heure (Ecart-type)	Volume de gaz après 24 heures (Ecart-type)	Volume final en ml/g MS (Ecart-type)
<i>Segifa</i>	14	0,76 (0,28)	177,13 (19,50)	254,86 (25,37)
<i>Tiandougou</i>	14	0,59 (0,46)	177,19 (19,44)	249,54 (20,77)
moyenne		0,68 (0,38)	177,17 (19,11)	252,2 (22,91)
Probabilité > 0,05		0,257	0,995	0,548

La variété n'a pas eu d'effet sur le volume final et sur le temps que les microorganismes mettent avant d'agir (temps de latence).

### 3.3 Corrélation entre la composition chimique et des paramètres fermentaires des fourrages de sorgho

La corrélation entre la production finale de gaz et la teneur en matière azotée totale n'a pas été significative (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Corrélations entre les constituants chimiques et des paramètres fermentaires des fourrages de sorgho

Variété	Latence	Production de gaz après 24 heures	Production finale de gaz
MO	-0,126	0,548**	0,577**
CT	0,126	-0,548**	-0,577**
CB	-0,234	-0,162	-0,299
dMO	-0,249	0,910**	0,603**

MO = matière organique

CT = cendres totales

CB = cellulose brute

dMO = digestibilité de la matière organique

\*\* = La corrélation est significative au niveau de 0,01 (bilatéral)

\* = La corrélation est significative au niveau de 0,05 (bilatéral)

### 3.4 Digestibilité de la matière organique et valeurs énergétiques

La digestibilité de la matière organique (dMO) et de l'énergie métabolisable des deux variétés de

fourrage de sorgho est présentée dans le Tableau 4. L'analyse de variance indique que les deux variétés ne sont pas statistiquement différentes ( $P > 0,05$ ).

**Tableau 4 :** Digestibilité de la matière organique et l'énergie métabolisable du fourrage des deux variétés de sorgho

Variété	dMO (%MS)	EM (Kcal/Kg MS)
<i>Segifa</i>	49,75 ± 2,92	1908,55 ± 109,31
<i>Tiandougou</i>	50,18 ± 2,61	1926,59 ± 95,34
Moyenne	49,96 ± 2,77	1917,57 ± 101,06
Probabilité > 0,05	0,684	0,646

Le Tableau 5 donne les valeurs énergétiques des fourrages de sorgho. Ces résultats n'indiquent pas de variations significatives pour les espèces. Les énergies nettes exprimées en unité fourragères lait et viande (UFL, UFV) présentent peu de variation

au regard des valeurs des écart-types. Les résultats d'analyse de variance montrent que les valeurs des énergies nettes ne varient pas en fonction de la variété.

**Tableau 5 :** Estimation des valeurs énergétiques du fourrage des deux variétés de sorgho

Variété	EB (kcal/kg MS)	UFL (Kg MS)	UFV (Kg MS)
<i>Segifa</i>	4583,38 ± 27,40	0,622 ± 0,041	0,516 ± 0,046
<i>Tiandougou</i>	4584,04 ± 34,37	0,628 ± 0,037	0,523 ± 0,041
moyenne	4583,71 ± 30,50	0,625 ± 0,038	0,520 ± 0,043
P > 0,05	0,955	0,647	0,649

## IV. DISCUSSIONS

La composition chimique des fourrages de sorgho se répercute sur leur cinétique de fermentation. Le volume final de gaz dépend de la quantité et de la qualité de matière organique du fourrage.

L'absence de corrélation significative entre la production finale de gaz et la teneur en matière azotée totale conforte les observations de plusieurs auteurs ([10] ; [11] ; [12]) qui ont précisé qu'un niveau de fertilisation azotée élevée n'engendre pas forcément un niveau de productions importantes de gaz. La fermentation *in vitro* des protéines augmente la capacité tampon du milieu réactionnel

qui entraîne une plus faible libération de gaz [13]. La digestibilité peut être affectée par la formation des complexes tanins-protéines [14]

Il existe une corrélation négative entre la production de gaz et les teneurs en celluloses brutes et en cendres. Ces paramètres de la matière organique ont un effet plus ou moins dépressif sur la production de gaz. La lignine disponible dans la cellulose entrave l'activité microbienne [15]. Ainsi, une matière organique fortement lignifiée ne favorise pas une importante production de gaz. Cependant l'effet de la cellulose brute dans cet essai n'est pas significatif. Cet état milite en faveur des deux variétés de sorgho testées présentant certainement moins de lignine.

La teneur en énergie brute (EB) des deux variétés de sorgho (4584kcal/kg MS) cadre avec les valeurs des fourrages de graminées prélevées en zones subsahariennes. Des chercheurs ont rapporté une teneur en énergie brute de l'ordre de 4332 kcal/kg de MS pour les pailles de mil et de sorgho [8]. D'après ces auteurs, la teneur en énergie brute varie de 4225 à 4463 kcal/kg de MS pour les pailles de mil et de sorgho des zones sahéliennes et soudano-sahéliennes. Les mêmes auteurs ont précisé que la plage de variation des teneurs en énergie brute de la matière organique des fourrages disponibles en zone tropicale varie de 3431 à 4587 kcal/kg MS.

Une partie importante de cette énergie est perdue dans les fèces et les urines comme en témoigne la teneur des fourrages en énergie métabolisable qui est d'environ 1918 kcal par kg de MS pour les deux variétés de sorgho. Une étude a rapporté une plage

de variation de la teneur de fourrages de graminées en énergie métabolisable entre 1943 et 2441 kcal par kg de MS [13].

Les valeurs de l'énergie brute (EB) obtenue par l'équation de Richard et *al.* [8] sont supérieures à 4000 kcal/kg de MS et celles-ci n'indiquent pas des variations statistiquement significatives pour les espèces. Les énergies nettes exprimées en unité fourragères lait et viande (UFL, UFV) présentent peu de variation au regard des valeurs des écart-types. Les résultats d'analyse de variance montrent qu'il n'y a pas d'interaction entre les énergies nettes et la variété.

## V. CONCLUSION

Les fourrages de la variété *Tiandougou* » sont semblables à ceux de *Segifa*. Ces deux fourrages pourraient être utilisés dans l'alimentation des bovins pour pallier au déficit fourrager en période sèche. La valeur moyenne de l'énergie métabolisable a été de  $1\,908,55 \pm 109,31$  kcal/kg de MS pour *Segifa* contre  $1\,926,59 \pm 95,3$  kcal/kg de MS pour *Tiandougou*. Au regard de leur teneur en protéines (4,83 à 3,85% de MS), leur utilisation nécessite l'apport d'aliments concentrés pour équilibrer les rations en fonction des objectifs de production (lait ou viande).

Toutefois, des études complémentaires sont indispensables pour évaluer les aptitudes propres à ces deux variétés à double usage à assurer les performances animales.

## REFERENCES

- [1] A. Fanchone, H. Archimede, et M. Boval, « 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 », *Renc. Rech. Ruminants*, 16 p, 2009.
- [2] F. X. Schubiger, J. Lehmann, R. Daccord, Y. Arrigo, B. Jeangros, et J. Scephovic, Détermination de la digestibilité de plantes fourragères. *Revue suisse d'agriculture*, 2002, vol. 34 (10) 13-16.
- [3] E. R. Ørskov, and M. Ryle, « Manipulation of rumen microorganisms », in *Energy Nutrition in Ruminants*. Elsevier Science (Eds.), New York, USA, 1989, pp. 499-503.
- [4] J. M. A. Tilley, and R. A. Terry, « A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops ». *J. Brit. Grassland Soc.*, 1963, vol. 18, p. 104-111.
- [5] Anonyme, « Plan de sécurité alimentaire de la commune rurale de Cinzana », consulté sur [http://csa.gouv.ml/plans/Segou/plansa\\_segou/P\\_S\\_A\\_Cinzana.pdf](http://csa.gouv.ml/plans/Segou/plansa_segou/P_S_A_Cinzana.pdf) le 12 mars 2013, 16 p., 2007
- [6] AOAC (Association of Official Analytical Chemists), « Official Methods of Analysis », Association of Official Analytical Chemists, (15th ed.). Washington, DC (1990).
- [7] J. France, M. S. Dhanoa, M. K. Theodorou, S. J. Lister, D. R. Davies, and D. Isac, « A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds », *J. Theor. Biol.* 1993, vol. 163 : 99-111.
- [8] D. Richard, H. Guerin, et N. M'Baye, « Teneurs en énergie brute et digestible de fourrages disponibles en zone tropicale ». *Revue Elev. Med. Vet. Pays trop.* 1990, vol. 43(2): 225-231.

- [9] K. H. Menke, H. Steingass, « Estimation of the energetic value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid ». *Anim. Res. Dev.* 1988, vol **28** : 7-55.
- [10] M. Blümmel, K. P. Aiple, H. Steingass, et K. Becker, « A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas evolution *in vitro* in feedstuffs of widely differing quality », *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1999, vol. **81**, p. 157 - 167.
- [11] J. W. Cone, and A. H. Van Gelder, « Influence of protein fermentation on gas production profiles », *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 1999, vol. **76**, p. 251-264.
- [12] R. M. González, M. Fondevila, U. A. Barrios, and Y. Newman, « *In vitro* gas production from buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) fermentation in relation to the cutting interval, the level of nitrogen fertilisation and the season of growth », *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1998, vol. **72**, p. 19-32.
- [13] S. Babatoundé, « Etude et prédiction de la valeur nutritive de graminées et légumineuses fourragères en zone tropicale humide du Bénin ». Thèse de Doctorat Unique. Gembloux, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, 264 pages, 2005.
- [14] L. Mebirouk-Boudechiche, S. Abidi, M. Cherif, et I. Bouzouraa, « Digestibilité *in vitro* et cinétique de fermentation des feuilles de cinq arbustes fourrages du nord est algérien », *Revue Méd. Vét.*, 2015, vol. **166**, n° 11-12, p. 350-359.
- [15] H. G. Jung, and J. Ralph, « Phenolic-carbohydrate complexes in plant cell walls and their effect on lignocellulose utilization. *In: Microbial and plant opportunities to improve lignocellulose utilisation by ruminants* », (eds) Akin D. E., Ljungdahl L. G., Wilson J. R., Harris P. J. Elsevier Sci. Publ. Co., New York, USA, 1990 pp 173-182.