

Évaluation de la digestibilité protéique des farines et des caillés de trois variétés de *Mucuna pruriens* (L.) chez les rats (*Rattus norvegicus* Berkenhout) mâles en croissance

Théophile MAOUDOMBAYE^{1*}, Mahamat Seid ALI¹, GOMOUNG DOLOUM²
et Josiane Therese Metsagang NGATCHIC³

¹ Université de Doba, Faculté des Sciences et Techniques, Tchad

² Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Sarh, Tchad

³ Département de Sciences Alimentaires et Nutrition, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, Ngaoundéré, Cameroun

* Correspondance, courriel : theomaoudombaye@gmail.com

Résumé

Le présent travail a pour objectif l'évaluation de la digestibilité protéique des farines brutes et de caillés de trois variétés de *Mucuna pruriens* chez les rats albinos mâles en croissance. 48 rats ont été répartis de manière randomisée en 8 groupes de 6 chacun en fonction des rations alimentaires formulées. Ces rations sont : régime sans protéine (RSP), régime à base de caséine (RC), régime à base de farine de caillé de mucuna noir (RMNc), régime à base de farine de caillé de mucuna rayé (RMRc), régime à base de farine de caillé de mucuna blanc (RMBc), régime à base de farine brute de mucuna noir (RMNf), régime à base de farine brute de mucuna rayé (RMRf) et régime à base de farine brute de mucuna blanc (RMBf). Toutes les rations sont isoazotées à l'exception du régime sans protéine. Les rats sont placés dans des cages semi-métabolites permettant de ramasser les restes de nourritures fournies et les fèces afin de déterminer les valeurs des paramètres de consommation. L'expérimentation a duré 28 jours. Les résultats de digestibilités protéiques apparentes et réelles obtenus pour chaque régime alimentaire sont : RC ($76,63 \pm 0,36$; $95,86 \pm 0,06$), RMNc ($71,20 \pm 0,77$; $91,60 \pm 0,99$), RMRc ($73,68 \pm 0,23$; $93,49 \pm 0,85$), RMBc ($71,16 \pm 0,59$; $92,03 \pm 0,70$), RMNf ($33,25 \pm 1,91$; $53,881 \pm 1,70$), RMRf ($31,3 \pm 2,40$; $52,12 \pm 2,22$) et RMBf ($31,12 \pm 4,00$; $51,92 \pm 3,8$). Ces résultats expérimentaux obtenus montrent que les caillés ont nettement amélioré la digestibilité protéique et peuvent constituer une alternative pour l'utilisation de graines de *Mucuna pruriens* dans l'alimentation humaine et animale.

Mots-clés : *Mucuna pruriens*, digestibilité protéique, rats.

Abstract

An evaluation of the protein digestibility of flours and derived protein rich product of three varieties of *Mucuna pruriens* (L.) from rats (*Rattus norvegicus*) in growth

The objective of the present study is to evaluate the proteinaceous digestibility of crude flours and derived protein rich product of three varieties of *Mucuna pruriens* of the male albino rats in growth. 48 rats have been taken randomly split up into 8 groups where 6 each according to their formulated feedings; those foods are :

foods without protein (RSP), foods with casein (RC), food with the black macuna derived protein rich product (RMNc), food with the scratch macuna derived protein rich product (RMRc), food with the white macuna derived protein rich product (RMBc), food with the black macuna crude flours (RMNf), food with the scratch macuna crude flours (RMRf) et food with the white macuna crude flours (RMBf). All those foods content the same quantity of azote excepted foods without protein. Rats have been isolated in the semi metabolic cages which allow gathering the remaining of the foods supplied and the faeces to determine the parameter values of consumption. The experiment has taken 28 days. The apparent and reel protein digestibilities obtained in each food are respectively : RC ($76,63 \pm 0,36$; $95,86 \pm 0,06$), RMNc ($71,20 \pm 0,77$; $91,60 \pm 0,99$), RMRc ($73,68 \pm 0,23$; $93,49 \pm 0,85$), RMBc ($71,16 \pm 0,59$; $92,03 \pm 0,70$), RMNf ($33,25 \pm 1,91$; $53,881 \pm 1,70$), RMRf ($31,3 \pm 2,40$; $52,12 \pm 2,22$) and RMBf ($31,12 \pm 4,00$; $51,92 \pm 3,8$). The results show that derived protein rich product have ameliorated the protein digestibility and could be the alternative for the use of seeds of *Mucuna pruriens* to feed human beings and animals.

Keywords : *Mucuna pruriens*, protein digestibility, rates.

1. Introduction

En Afrique subsaharienne, le problème de malnutrition protéique est récurrent parce que l'alimentation des populations est caractérisée par un déficit en protéines dont les conséquences se manifestent chez les enfants en bas âge [1]. Les protéines animales sont inaccessibles aux populations rurales pauvres [2]. Par contre, les aliments sources de protéines d'origine végétale sont disponibles et accessibles. Les légumineuses sont considérées comme la source majeure des protéines alimentaires parmi les plantes [3]. Les graines des légumineuses, à l'instar de celles de *Mucuna pruriens*, constituent une riche source de protéines de qualité pour les humains et les animaux mais elles présentent une digestibilité limitée due aux antinutriments qu'elles contiennent [4]. En effet, *Mucuna pruriens* présente des potentialités agronomiques, médicinales et nutritionnelles [5] mais est très peu utilisée. Les valeurs nutritionnelles déterminées pour les graines de *Mucuna* sont comparables à celles des légumineuses conventionnelles [6]. Les valeurs protéiniques sont généralement comprises entre 22 et 35 % [7]. Ces valeurs sont plus élevées que celles trouvées dans les légumineuses classiques telles que *Pisum sativum* (22 %), *Phaseolus vulgaris* (21 %), *Cicer arietinum* (19 %) et *Lens culinaris* (21 %) [7]. Cependant, il a été remarqué que consommées sans traitement approprié, les graines de *Mucuna* ont des effets néfastes chez l'homme et les oiseaux [8]. Parmi les facteurs toxiques et antinutritionnels identifiés dans ces graines figurent des tannins, des inhibiteurs de trypsine, des anticoagulants et la L-dopa [9]. Les traitements traditionnels tels que la cuisson, la fermentation ou la germination améliorent la digestibilité protéique des graines en diminuant les niveaux de quelques antinutriments [10]. De plus, les méthodes de production des isolats, des concentrats et des caillés des graines de certaines légumineuses constituent un moyen efficace pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle des protéines car elles réduisent les facteurs toxiques et antinutritionnels de celles-ci [11]. L'objectif de ce travail est d'évaluer la digestibilité protéique des farines brutes et des caillés de trois variétés de *Mucuna pruriens* (L.) chez les rats (*Rattus norvegicus*) mâles en croissance.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

2-1-1. Matériel végétal

Le matériel végétal employé est constitué de graines de *Mucuna pruriens*, une légumineuse peu connue et très rare sur le marché tchadien. Trois variétés ont été utilisées lors de la présente étude : les variétés noire, blanche et rayée (**Figure 1**). Les graines ont été fournies par l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD).



M. pruriens var. *utilis*



M. pruriens var. *cochinchinensis*



M. pruriens var. *pruriens*

Figure 1 : Graines des trois variétés de *Mucuna pruriens* utilisées

2-1-2. Matériel animal

Depuis de nombreuses années, les nutritionnistes ont adopté une souche de rat particulière, isolée par la Wistar Institute de Washington comme modèle expérimental [12]. L'avantage le plus évident du rat est son caractère d'omnivore et surtout la sensibilité de sa réponse aux conditions nutritionnelles. Par simple suivi de sa consommation journalière en quelques jours, il est possible de présager de la qualité nutritionnelle du constituant étudié [12]. Les animaux sont des rats albinos mâles de race Wistar en croissance, ayant entre 87 et 116 g.

2-2. Méthodologie

2-2-1. Production de farines et de caillés de *Mucuna pruriens*

Les graines des trois variétés (blanche, rayée et noire) de *Mucuna pruriens* ont été trempées séparément dans de l'eau distillée dans un rapport 1 / 10 (poids / volume) pendant 24 h à 35°C. Elles ont été essorées puis séchées pendant 48 h dans une étuve (de marque Towson & Mercer, England) ventilée à $40 \pm 5^\circ\text{C}$. Les graines séchées ont été décortiquées à l'aide d'un moulin à céréales (de marque SAMAP) et vannées manuellement pour dégager les téguments. Elles ont été ensuite broyées dans le même moulin puis tamisées à l'aide d'un tamis de mailles de 0,5 mm de diamètre. Les farines ainsi obtenues ont été conservées à 4°C dans des sacs en plastique pour la production de caillés, la nutrition des rats pendant l'expérimentation et la détermination des caractéristiques physico-chimiques. Les caillés sont produits selon la procédure décrite par [13]. Les protéines coagulent en présence d'acides et de la chaleur. Le principe de ce processus est de produire le lait de *Mucuna* à partir de la farine et de le faire cailler en présence de l'acide citrique à chaud. 500 g de farine de mucuna ont été dissouts dans 2500 mL d'eau distillée (rapport de 1 / 5 poids / volume). La solution obtenue a été agitée à l'aide d'un agitateur électrique (TECHNICON stirrer motor, England) muni d'un autotransformateur (DIDALAB, France) réglé à 130trs / mn pendant 3 h, puis centrifugée à l'aide d'une centrifugeuse électrique (DL-6000B) pendant 10 min à 4000 trs / min pour recueillir le surnageant. Le culot a été recyclé une fois dans les mêmes conditions d'extraction. Le surnageant obtenu est le lait de mucuna. Ce

lait a été versé dans une marmite puis acidifié grâce à l'acide citrique à raison de 0,325 g / 100 mL. L'ensemble a été porté à ébullition sur une plaque chauffante à 97,5°C pendant 10 min. La solution a été ensuite versée dans un linge pressoir puis pressé pendant 10 min. La masse compacte obtenue est le caillé de mucuna. Après le pressage, le caillé de mucuna a été retiré et séché dans un séchoir électrique ventilé à $40 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 48 h. Il a été enfin moulu et tamisé à la granulométrie de 0,5 mm, puis la poudre conservée comme dans le cas des farines à 4°C dans des sacs en plastique pour la caractérisation physico-chimique et la nutrition des animaux pendant l'expérimentation.

2-2-2. Détermination de la teneur en protéines des farines et des fèces

La teneur en protéines a été déterminée en utilisant la méthode de Kjeldahl [14] pour la minéralisation et la méthode de [15] pour le dosage de l'azote. La teneur en protéines brutes a été obtenue en multipliant la teneur en azote par le facteur conventionnel 6,25 [16].

2-2-3. Formulation des régimes alimentaires pour la digestibilité in vivo

La digestibilité in vivo des protéines évalue la qualité nutritionnelle d'une protéine à partir de l'analyse des résultats de la mesure de l'azote retenu et de la croissance des rats. La qualité des protéines alimentaires a été évaluée par la méthode des bilans qui s'intéresse à la mesure de l'azote ingéré et à celui perdu dans les fèces [2]. Les bilans de digestibilité sont conduits sur des animaux placés individuellement dans des cages spécialement adaptées permettant de recueillir les fèces qui sont analysés par voie physico-chimique en fin d'expérimentation [2]. La règle fondamentale est que toutes les rations soient isoazotées (c'est à dire qu'elles ont la même teneur en azote) et que la seule variable entre le régime témoin positif (contenant la caséine), le témoin négatif (ne contenant de protéine), et les rations expérimentales, est la nature des protéines. La teneur en protéines des aliments est maintenue à 10 % [17]. Les rations ont été formulées selon [18]. Au total, huit régimes alimentaires ont été préparés de la manière suivante :

- Un régime sans protéine représentant le témoin négatif (RSP) ;
- Un régime protéique témoin positif ayant comme source de protéine la caséine (RC) ;
- Trois régimes protéiques à partir des farines brutes des trois variétés de *Mucuna* qui sont farine brute de mucuna noir (RMNf), farine brute de mucuna rayé (RMRf) et farine brute de mucuna blanc (RMBf) ;
- Trois régimes protéiques à partir des farines de caillés des trois variétés de mucuna qui sont mucuna noir caillé (RMNc), mucuna rayé caillé (RM Rc) et mucuna blanc caillé (RMBc).

2-2-4. Déroulement de l'expérience

Les rats sont pesés et répartis de manière randomisée en 8 groupes de 6 rats chacun soit au total 48 rats. Ils sont gardés chacun dans des cages semi métaboliques [17]. Au cours de la période expérimentale, les nourritures ont été pesées et données aux rats sous forme de cossettes une fois tous les deux jours le matin dans un intervalle de temps fixe (8 à 10 h). L'eau est servie dans des biberons à volonté et remplacée tous les deux jours. Avant de distribuer de nouvelles nourritures, les restes des nourritures proposées aux animaux ont été ramassés et pesés. La différence entre les quantités d'aliments servies et les restes a permis de déterminer la quantité consommée par animal [19]. Les animaux ont été pesés tous les deux jours au même intervalle de temps. La dernière pesée a eu lieu à la fin de l'expérience. Les fèces de deux derniers jours de l'expérimentation ont été ramassées et leur teneur en azote a été déterminée en vue de l'évaluation de la digestibilité protéique [12]. La variation de masse corporelle et la quantité d'aliments consommées pendant la période de l'expérimentation ont été utilisées pour l'estimation du coefficient d'efficacité protéique (CEP). La perte de masse présentée par le groupe de rats soumis au régime sans protéines a été utilisée pour le calcul du coefficient d'efficacité protéique net (CEPN) [2].

2-2-5. Évaluation des paramètres de valeur nutritionnelle des régimes alimentaires

Le gain de poids (GP), exprimé en g, est défini par la différence entre le poids final et le poids initial de l'animal. Le gain de poids par jour a été obtenu en divisant le gain de poids total par le nombre de jours de l'expérience.

$$GP (g) = \text{Poids final} - \text{poids initial} [20] \quad (1)$$

$$GP/i (g) = \frac{\text{Poids final} - \text{poids initial}}{\text{nombre de jours}} [20] \quad (2)$$

Les quantités totales d'aliment consommées (QTAC) représentent les quantités totales d'aliment ingérées durant la période expérimentale. Son expression en g / i est obtenue en divisant la quantité de QTAC (g) par le nombre de jours de l'expérience.

QTAC (g) = Quantité totale d'aliment ingéré durant la période expérimentale.

$$QTAC (g/i) = \frac{\text{Quantité totale d'aliment ingéré}}{\text{nombre de jours}} [20] \quad (3)$$

Les Protéines totales ingérées (PTI) (g) représentent la quantité de protéines alimentaires ingérées durant la période de l'expérience.

PTI (g) = QTAC(g) x pourcentage de protéines du régime

$$PTI (g/i) = \frac{QTAC (g) \times \text{pourcentage de protéines du régime}}{\text{nombre de jours.}} [20] \quad (4)$$

L'indice de consommation (ICONS) se calcule à partir de la **Formule** suivante :

$$ICONS = \frac{\text{Quantité d'aliment consommée (g)}}{\text{Poids vif total produit (g)}} [20] \quad (5)$$

Le Coefficient d'efficacité protéique (CEP) est obtenu en faisant le rapport entre le gain de poids (g) et les PTI (g).

$$CEP = \frac{\text{Croissance du groupe test (g)}}{\text{Protéine totale ingérée (g)}} [20] \quad (6)$$

$$CEPN = \frac{\text{Croissance du groupe test (g)} + \text{Pertes de poids des rats nourris au régime sans protéine (g)}}{\text{Protéine ingérée par le groupe test (g)}} [20] \quad (7)$$

2-2-6. Digestibilité protéique in vivo

La digestibilité protéique *in vivo* est déterminée par la digestibilité apparente (DA) et la digestibilité réelle (DR).

$$DA = \frac{\text{Azote ingéré} - \text{Azote fécal}}{\text{Azote ingéré}} \times 100 [21] \quad (8)$$

$$DR (\%) = \frac{[I - (F - FPP)]}{I} \times 100 [21] \quad (9)$$

I = protéine ingérée par un sujet soumis au régime avec protéine ;

F = protéine excrétée par les fèces d'un sujet soumis au régime avec protéine ;

F_{pp} = protéine excrétée par les fèces d'un sujet soumis au régime sans protéine.

2-3. Analyses des données

Les données obtenues ont été exprimées sous forme de moyenne $\pm$ écart type. Le logiciel Statgraphics 5.0 (Manugistics, Rockville, Maryland, USA, 1997) a été utilisé pour l'analyse de variance (ANOVA) et le test de comparaison multiple de DUNCAN pour les différences significatives. La signification statistique a été définie pour $p < 0,05$.

3. Résultats et discussion

Les quantités d'aliments et d'azote ingérées ainsi que d'azote excrété sont mesurés sur des rats mâles albinos soumis à une expérimentation de 28 jours. Les mesures de poids des rats ont été également réalisées. Ces résultats sont traduits par les figures 2 à 5. Le **Tableau 1** résume les valeurs moyennes des indices de consommation (ICONS), de coefficients d'efficacité protéique (CEP) et de coefficients d'efficacité protéique nets (CEPN) calculés, tandis que dans le **Tableau 2** sont consignées les digestibilités protéiques apparentes et réelles.

3-1. Quantité d'aliments ingérés par régime

Les résultats obtenus montrent que la quantité d'aliments ingérée par jour la plus élevée revient au régime caséine ($29,06 \pm 0,45$ g) et la valeur la plus faible, au régime sans protéine ($21,90 \pm 0,95$ g). Les résultats obtenus montrent en outre qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs des régimes RMNc ($27,39 \pm 0,33$ g), RM Rc ($27,73 \pm 0,30$ g), RMNf ($27,09 \pm 0,45$ g) et RMBf ($26,86 \pm 0,3$ g) d'une part et entre celles des régimes RMNc ($27,39 \pm 0,33$ g), RMBc ($26,79 \pm 0,60$ g), RMNf ($27,09 \pm 0,45$ g), RMBf ($26,86 \pm 0,3$ g) et RMRf ($26,88 \pm 0,50$ g) d'autre part (**Figure 2**). Par contre, les valeurs des régimes RMNc, RMBc, RMNf, RMRf et RMBf diffèrent significativement de RM Rc au seuil de $p < 0,05$. La grande consommation observée au niveau de lot de rats soumis au régime caséine serait due à l'appétence qu'aurait procurée la présence de cette protéine dans l'aliment. Maga [22] a signalé que les acides aminés basiques et l'acide glutamique contribuent à améliorer la flaveur et l'appétence des aliments qui en sont riches. Par contre, le faible taux de consommation du lot de rats soumis au régime sans protéine serait dû à l'absence totale de protéine qui diminuerait l'appétence. Les résultats obtenus sont largement supérieurs à ceux de [23] qui a obtenu les consommations moyennes de $17,8 \pm 1,7$ g et de $8,8 \pm 2,1$ g respectivement pour le régime caséine et pour le régime sans protéine.

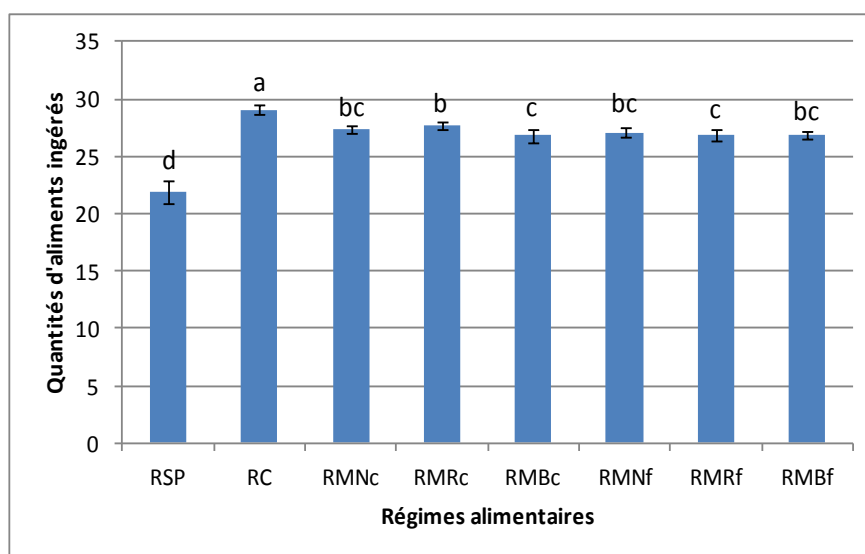


Figure 2 : Quantités moyennes d'aliments ingérées pendant l'expérimentation

3-2. Quantité d'azote ingérée par régime

Les résultats des analyses donnent de valeurs de $0,46 \pm 0,01$ g d'azote ingéré pour le lot des rats soumis au régime caséine (RC) et $0,00 \pm 0,00$ g pour le groupe des rats ayant consommé les aliments sans protéine. L'azote ingéré augmente avec la quantité d'aliment consommé pour chaque régime [2]. Après ingestion d'un repas, l'azote d'origine exogène représente entre 50 et 70 % du flux d'azote au niveau jéjunal [24]. La fraction non protéique de l'azote exogène est légèrement supérieure à celle de l'azote endogène puisqu'elle varie entre 40 et 80 % suivant le type de repas et le temps [25]. Les taux d'azote ingéré obtenus à partir des différents régimes caillés sont significativement différents entre eux : $0,43 \pm 0,00$ g pour RMNc, $0,44 \pm 0,00$ g pour RMRc et $0,42 \pm 0,00$ g pour RMBc. Au niveau des farines, les taux d'azote de RMNf ($0,43 \pm 0,00$ g) et de RMRf ($0,43 \pm 0,00$ g) sont significativement identiques entre eux et différents de celui de RMBf ($0,42 \pm 0,00$ g) (*Figure 3*). Les résultats de régime caséine et de régime sans protéine confirment leur consommation respective. D'une manière générale, les quantités d'azote ingérées sont appréciables pour tous les régimes expérimentaux à l'exception du régime sans protéine.

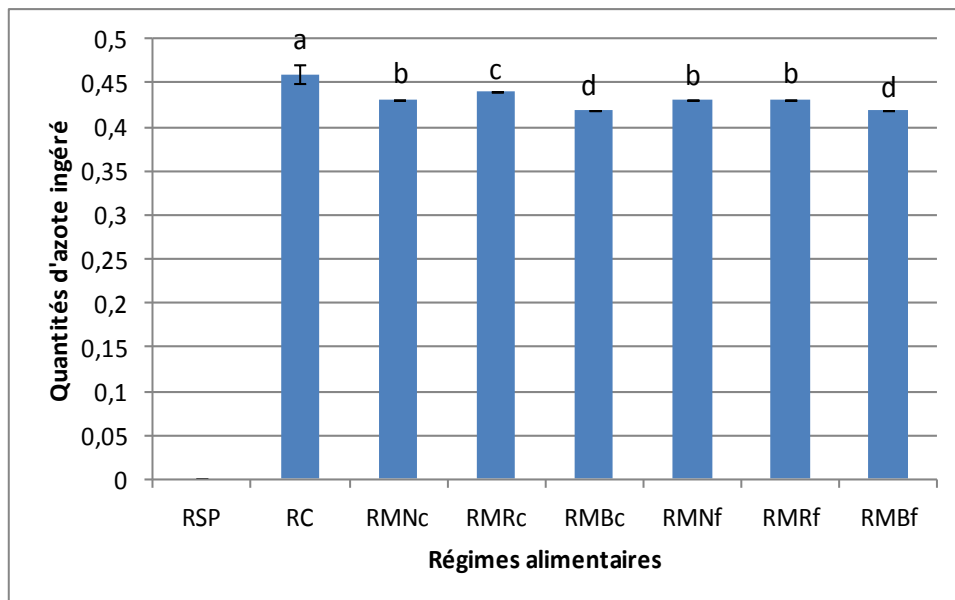


Figure 3 : Quantités moyennes d'azote ingéré pendant l'expérimentation

3-3. Quantités d'azote excrété

Les résultats d'analyses sur l'azote fécal donnent une quantité maximale d'azote excrétée pour RMRf ($0,29 \pm 0,01$ g) et une valeur minimale pour le lot de rats soumis au régime sans protéine ($0,089 \pm 0,00$ g). Les valeurs d'azote fécal des groupes caillés sont significativement identiques entre elles, ainsi que pour les régimes farines brutes (*Figure 4*). Les valeurs des caillés sont proches de celle de la caséine, ce qui atteste que les protéines des caillés ont été bien digérées. Par contre, les taux d'azote fécal des farines brutes sont très élevés : $0,29 \pm 0,00$ g pour (RMBf) et pour (RMRf) et $0,28 \pm 0,00$ g (RMNf). Le maximum d'azote fécal excrété par les groupes de rats soumis aux farines brutes serait dû à la teneur élevée des aliments en fibres brutes et aux antinutriments qui auraient complexé les protéines empêchant ainsi leur digestion. Les fibres des différents régimes ont été augmentées par l'incorporation de 5 % de cellulose. L'augmentation de la teneur en fibres du régime accroît l'excrétion fécale d'azote suite à une augmentation d'azote d'origine microbienne [26]. La fraction protéique de l'azote endogène est principalement constituée par les amylases salivaires, la pepsine, les protéases pancréatiques (trypsine, chymotrypsine, élastase, carboxypeptidases) et les lipases [24].

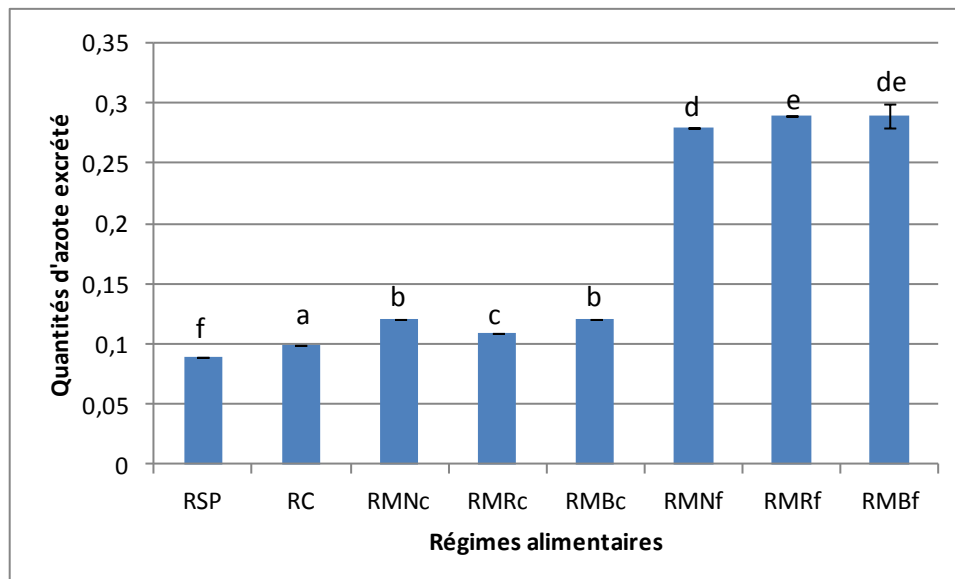


Figure 4 : *Quantités moyennes d'azote excrété pendant l'expérimentation*

3-4. Gain de poids des animaux

L'évaluation des poids des animaux a permis d'obtenir les résultats allant de $11,55 \pm 0,30$ g pour les rats nourris à la caséine à $-8,6 \pm 0,84$ g pour les rats nourris au RMNf. Les gains de poids de RMNc ($10,78 \pm 0,10$ g) et RMRc ($11,28 \pm 0,52$ g) sont identiques entre eux et diffèrent significativement de RMBc ($10,13 \pm 0,45$ g) au seuil de $p < 0,05$. Il n'y a pas de différence significative entre RMRc et le groupe caséine (**Figure 5**). Ces résultats montrent que les protéines des caillés sont assimilées au même titre que la protéine de référence qui est la caséine. Au niveau des farines brutes, les pertes de poids de RMNf ($-8,6 \pm 0,84$ g) avec RMRf ($-7,94 \pm 0,13$ g) et RMBf ($-8,01 \pm 0,25$ g) diffèrent significativement entre elles. Les pertes de poids de RMRf, de RMBf et de régime sans protéine sont identiques au seuil de $p < 0,05$. Les pertes de poids des animaux seraient attribuées à la mauvaise digestibilité protéique des farines brutes d'une part et à l'absence totale de celle-ci dans la ration d'autre part. Les résultats obtenus sont inférieurs à ceux de [18] qui ont rapporté un gain de $24,22 \pm 9,580$ g pour le régime caséine et une perte de $-12,26 \pm 5,200$ g pour le régime sans protéine.

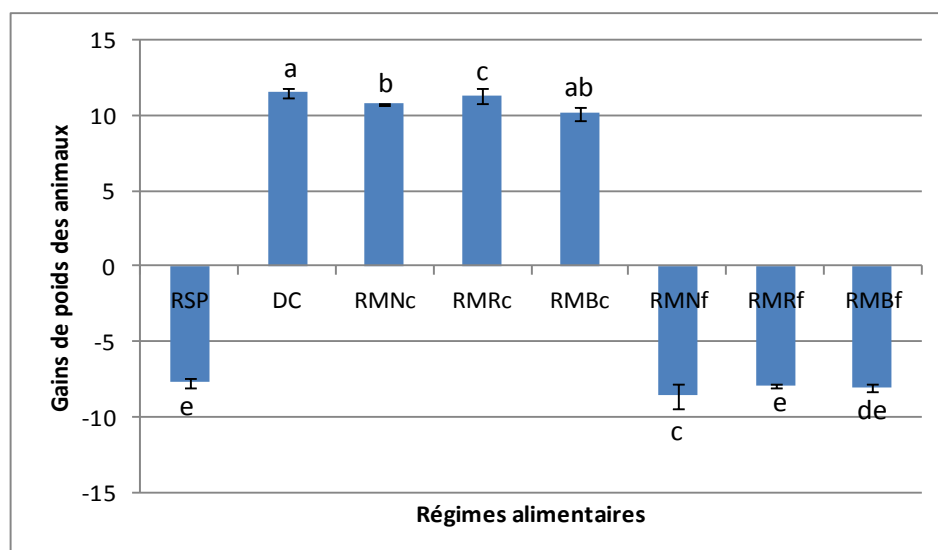


Figure 5 : *Variations de poids des rats en fonction de régimes alimentaires*

Tableau 1 : Variations des coefficients d'efficacité protéique et net et des indices de consommation en fonction de régimes alimentaires

Paramètres	Témoin	Caillés de <i>Mucuna</i>			Farines brutes de <i>Mucuna</i>		
	Caséine	Noir	Rayé	Blanc	Noir	Rayé	Blanc
Icons	2,51 ± 0,05 ^a	2,55 ± 0,05b ^a	2,46 ± 0,11 ^a	2,64 ± 0,09 ^b	- 3,17 ± 0,24 ^c	- 3,38 ± 0,07 ^d	- 3,35 ± 0,10 ^d
CEP	4,08 ± 0,11 ^a	3,93 ± 0,06 ^{bc}	4,06 ± 0,18 ^{ba}	3,78 ± 0,13 ^c	- 3,16 ± 0,23 ^d	- 2,95 ± 0,06 ^d	- 2,98 ± 0,09 ^d
CEPN	6,73 ± 0,03 ^a	6,67 ± 0,05 ^{ab}	6,66 ± 0,04 ^{ab}	6,56 ± 0,11 ^b	- 0,11 ± 0,00 ^c	- 0,11 ± 0,00 ^c	- 0,11 ± 0,00 ^c

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0,05$) ; ICONS = Indice de consommation ; CEP = coefficient d'efficacité protéique ; CEPN = coefficient d'efficacité protéique net.

3-5. Indice de consommation (ICONS)

L'indice de consommation (ICONS) est le rapport de la quantité d'aliment ingéré sur le gain de poids de l'animal. Il traduit l'efficacité alimentaire globale et chiffre le rendement de la ration. Le résultat le plus faible traduit une meilleure production [2]. Dans les conditions normales de l'alimentation, la valeur de l'indice de consommation est comprise entre 1,9 et 2,1 ; soit une valeur moyenne de 2. La valeur 2 signifie que l'animal a consommé 2 Kg d'aliment pour produire 1 Kg de poids vif [27]. Un résultat négatif est le signe d'une mauvaise utilisation de l'aliment [11]. Le **Tableau 1** présente les indices de consommation allant de $2,64 \pm 0,09$ pour RMBc à $-3,38 \pm 0,07$ pour RMRf. Il ressort de ce tableau que la meilleure production revient au régime RMRc ($2,46 \pm 0,11$) qui a le plus faible indice. Les indices de consommation de RMNc ($2,55 \pm 0,05$) et RMRc ($2,46 \pm 0,11$) sont statistiquement identiques entre eux et à celui de la caséine et différent de celui de RMBc ($2,64 \pm 0,09$). D'une manière générale, les indices de consommation des caillés traduisent une bonne efficacité protéique du fait qu'ils ont permis un gain de poids comparable à celui de la caséine. Par contre, au niveau des farines brutes, les indices de consommation de RMRf ($-3,38 \pm 0,07$) et de RMBf ($-3,35 \pm 0,10$) sont significativement identiques entre eux et différent de celui de RMNf ($-3,17 \pm 0,24$ g) au seuil de $p < 0,05$. Ces indices négatifs chiffrent une mauvaise digestibilité protéique des régimes qui a entraîné la perte de poids de rats. Cependant, l'ICONS à lui seul ne peut pas prédire de l'efficacité d'une protéine dans la mesure où la quantité consommée ne correspond pas toujours à la quantité assimilée [18].

3-6. Coefficients d'efficacité protéique (CEP) et net (CEPN)

Le coefficient d'efficacité protéique (CEP) est un paramètre de mesure de la croissance des animaux. Le CEP est le rapport du gain de poids des animaux sur la quantité des protéines ingérées. Selon [28], les protéines dont le CEP est inférieur à 1,5 sont de qualité protéique faible, celles ayant un CEP compris entre 1,5 et 2 sont de qualité intermédiaire, quand il est supérieur à 2, les protéines sont de bonne qualité. En se basant sur cette classification, les protéines des caillés ; $3,93 \pm 0,06$ % (RMNc), $4,06 \pm 0,18$ % (RMRc) et $3,78 \pm 0,13$ % (RMBc) ; sont de bonne qualité nutritionnelle comme la caséine ($4,08 \pm 0,11$ %). Cependant, une faible valeur de CEP n'indique pas toujours une faible capacité de la protéine à assurer la croissance. Le calcul du CEPN est plus approprié et plus précis [28]. Les résultats du **Tableau 1** montrent que les taux de CEP de $4,08 \pm 0,11$ % pour la Caséine à $-3,16 \pm 0,23$ % pour MNf. Le CEP de RMRc ($4,06 \pm 0,18$ %) est significativement identique à celui de la caséine et à celui de RMNc ($3,93 \pm 0,06$ %). Il n'existe pas de différence entre le CEP de RMNc ($3,93 \pm 0,06$ %) et celui de RMBc ($3,78 \pm 0,13$ %). Par contre, RMBc ($3,78 \pm 0,13$ %) diffère significativement de RMRc ($4,06 \pm 0,18$ %) et de caséine ($4,08 \pm 0,11$ %). Les CEP des farines brutes sont identiques entre eux au seuil de $p < 0,05$. Les CEP similaires des caillés ($3,18 \pm 1,24$ %) et de la caséine ($3,27 \pm 0,61$ %) sont rapportés chez les rats respectivement par [2]. L'efficacité d'une protéine pour la croissance peut être estimée par le calcul du coefficient d'efficacité protéique net (CEPN) qui prend en compte la perte du poids de l'animal

nourri à l'aliment de base [42]. C'est le rapport du gain de poids des animaux ajouté à la perte de poids du groupe sans protéine divisé par la quantité des protéines ingérées par l'animal. Les valeurs de CEPN des caillés sont significativement égales entre elles. Il n'existe pas de différence significative entre la valeur de CEPN de caséine ($6,73 \pm 0,03$) avec celles de RMNc ($6,67 \pm 0,05$) et de MRc ($6,66 \pm 0,04$). Les taux de CEPN des farines brutes, tous négatifs, sont statistiquement identiques entre eux au seuil de $p < 0,05$. Les valeurs des caillés obtenues sont supérieures à celles de colza (4,59) et de soja (2,74) rapportées par [28]. Ce qui témoigne de la bonne qualité nutritionnelle des caillés de mucuna. [2] a rapporté une valeur de $5,89 \pm 0,50$ pour la caséine.

Tableau 2 : Variations de digestibilités apparentes et réelles en fonction de régimes alimentaires

Paramètres	Témoin	Caillés de <i>Mucuna</i>			Farines brutes de <i>Mucuna</i>		
	Caséine	Noir	Rayé	Blanc	Noir	Rayé	Blanc
DA (%°)	$76,63 \pm 0,36^a$	$71,20 \pm 0,77^b$	$73,68 \pm 0,23^b$	$71,16 \pm 0,59^b$	$33,25 \pm 1,91^c$	$31,3 \pm 2,40^c$	$31,12 \pm 4,00^c$
DR (%)	$95,86 \pm 0,06^a$	$91,60 \pm 0,99^b$	$93,49 \pm 0,85^{ba}$	$92,03 \pm 0,70^b$	$53,881 \pm 1,70^c$	$52,12 \pm 2,22^c$	$51,92 \pm 3,8^c$

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0,05$); DA = digestibilité apparente; DR = digestibilité réelle.

La digestibilité d'un aliment est définie comme étant l'aptitude d'un aliment à être transformé en substances chimiques capables de passer dans la circulation porte, tandis que la digestibilité d'une protéine est la capacité du tube digestif à absorber effectivement l'azote ingéré. Les digestibilités apparentes obtenues varient de $76,63 \pm 0,36$ % pour le lot de rats soumis au régime à base de la caséine à $31,12 \pm 4,00$ % pour les rats ayant consommé les aliments à base de farines brutes de mucuna noir. Les valeurs de la digestibilité apparente des rats nourris aux caillés ne présentent pas de différence significative entre elles mais sont légèrement inférieures à celle de la caséine (**Tableau 2**). Les taux de digestibilité apparente des régimes farines brutes, très faibles par rapport à ceux des caillés, sont significativement identiques au seuil de $p < 0,05$. Par contre, les taux de digestibilité réelle varient de $95,86 \pm 0,06$ % pour RC à $51,92 \pm 3,8$ % pour RMBf. La valeur de la digestibilité réelle de RMRc ($93,49 \pm 0,85$ %) est significativement identique à celle de RC ($95,86 \pm 0,06$ %) mais diffère de celles de RMNc ($91,60 \pm 0,99$ %) et de RMBc ($92,03 \pm 0,70$ %) qui sont égales entre elles. Les digestibilités réelles des farines brutes, RMNf ($53,881 \pm 1,70$ %), RMRf ($52,12 \pm 2,22$ %) et RMBf ($51,92 \pm 3,8$ %), sont toutes identiques entre elles au seuil de $p < 0,05$. Les digestibilités des caillés sont comprises dans les intervalles de digestibilités des protéines animales de 95 à 98 % et de protéines végétales de 75 à 95 % rapportés par [2]. Par contre, les faibles taux de digestibilité des régimes farines brutes relativisent leur faible qualité nutritionnelle [11].

4. Conclusion

Les résultats de ce travail montrent que le procédé de production de caillé a non seulement concentré les protéines, mais réduit les teneurs de mucuna en antinutriments qui complexent les protéines empêchant leur bonne utilisation. Les essais de nutrition, réalisés sur les jeunes rats mâles en croissance, ont permis de constater que les caillés ont favorisé une bonne croissance des rats comparativement à ceux nourris à la caséine. Les taux de digestibilité chez ces rats ont montré que les caillés n'ont pas été toxiques et ont présenté une bonne qualité nutritionnelle de protéines. Par contre, les animaux nourris aux farines brutes lors des mêmes essais ont perdu de poids. Les farines brutes de mucuna ont présenté une mauvaise qualité nutritionnelle des protéines qui s'est traduite par la perte substantielle de poids des animaux. Les résultats obtenus montrent que les caillés de *Mucuna pruriens* sont une source potentielle de protéine pouvant être utilisée dans l'alimentation humaine à l'instar du caillé de soja.

Références

- [1] - L. J. DEEN, M. FUNK, C. V. GUEVARA, H. SALOOJEE, Y. JAMES, Y. J. DOE, A. PALMER, W. M. WEBER, *Bulletin of the World Health Organization*, 81 (2003) 237 - 243
- [2] - K. L. B. MEZAJOUG, Doctorat de l'INPL, Doctorat Ph.D de l'université de Ngaoundéré. Institut National Polytechnique de Lorraine (2010) 226 p.
- [3] - J.-P. BAUDOIN, A. MAQUET, *Biotechnol. Agronomy Sociological and environmental*, 3 (1999) 220 - 224
- [4] - P. GURUMOORTHY, S. SENTHIL KUMAR et V. VADIVEL, *Trop. Subtrop. Agro- Ecosyst.*, 2 (2003) 105 - 115
- [5] - D. MAHAMADOU, 16 (2009) 9 - 25 p.
- [6] - M. PUGALENTHI, V. VADIVEL, P. SIDDHURAJU, *Plant Foods for Human Nutrition*, 60 (2005) 201 - 218
- [7] - D. MAHAMADOU, 16 (2009) 9 - 25 p.
- [8] - M. JOSEPHINE, K. JANARDHANAN, *Food Chem.*, 43 (1992) 13 - 18
- [9] - S. BISHNOI, N. KHETARPAUL, R. K. YADAV, *Plant Foods for Human Nutrition*, 45 (4) (1994) 381 - 388 p.
- [10] - MAOUDOMBAYE, Mémoire de Master. Université de Ngaoundéré, (2012) 83 p.
- [11] - J. ADRIAN, M. RABACHE, R. FRANGNE, *Ed. Lavoisier TEC et Doc*, Paris, (1991) 451 - 478
- [12] - J. T. M. NGATCHIC, D. S. SOKENG, Y. N. NJINTANG, T. MAOUDOMBAYE, J. OBEN, M. F. C. MBOFUNG, *Food and Chemical Toxicology*, 57 (2013) 46 - 53
- [13] - BAFNOR. 1^{ère} édition. Paris (France), (1982) 327 p.
- [14] - M. B. DEVANI, J. C. SIOSHOO, S. A. SHAL, B. N. SUHAGIA, *J. Ass. Off. Anal. Chem.*, 72 (6) (1989) 953 - 956
- [15] - DIALLO KOFFI SÉRAPHIN, KONÉ KISSELMINA YOUSSEF, SORO DOUDJO, ASSIDJO NOGBOU EMMANUEL, YAO KOUASSI BENJAMIN et GNAKRI DAGO, *European Scientific Journal*, 11 (27) (2015) 1857 - 1881
- [16] - Y. S. GIAMI, *Journal of Food Composition and Analysis*, 18 (2005) 665 - 673
- [17] - K. G. M. BOUAFU, K. G. KOUAME, A. M. OFFOUMOU, *Tropicultura*, 25 (2) (2007) 70 - 74
- [18] - J. ADRIAN, J. POTUS, P. ANNIE, *Technique et documentation Lavoisier*, Paris (France), (1998) 254 p.
- [19] - A. F. WALKER, A review. *Journal of Plant Foods*, 4 (1982) 5 - 14
- [20] - V. R. YOUNG, P. L. PELLET, *J. Nutr.*, 121 (1991) 145 - 150
- [21] - J. A. MAGA MUSHROOM FLAVOR, *J. Agric. Food Chem.*, 29 (1) (1981) 1 - 4
- [22] - F. AMBOUSSIDI, Mémoire de Master. Université de Ngaoundéré, (2011) 78 p.
- [23] - C. S. GITLER, Eds. Munro HN, Allison JB. Academic Press, New York, (1964) 35 - 70
- [24] - A. Baglieri, S. Mahe, S. H. Zidi, F. Thuillier, J. F. Huneau, P. Marteau, D. Tome. Br. *J. Nutr.*, 72 (1994) 519-532.
- [25] - J. Q. Zhu, V. R. Fowler, M. F. Fuller. *Amin. Prod*, 50 (1990) 531 - 539
- [26] - Aviculture au Maroc, 2011. www.avicultureaumaroc.com
- [27] - M. FRIEDMAN, A review. *J. Agric-chem*, 44 (1996) 6 - 29