

# EVALUATION DE LA PERFORMANCE NUTRITIONNELLE D'UNE FARINE INFANTILE COMPOSÉE CHEZ DE JEUNES RATS

K. BROU , A. DADIE , K. M. DJE , D. GNAKRI

UFR des Sciences et Technologie des Aliments, Université d'Abobo-Adjamé, 02 BP 801 Abidjan 02  
Côte d'Ivoire

## RESUME

Une farine composée à base de maïs, de niébé et de manioc a été obtenue à partir de fermentation associée et soumise au jeune rat mâle Wistar, comme aliment de complément. Cette farine fermentée (FF) est mieux consommée par les rats ( $8,0 \pm 0,6 \text{ g}^{-1}\text{j}^{-1}$ ) que la farine composée non fermentée (FNF) témoin ( $5 \pm 0,4 \text{ g}^{-1}\text{j}^{-1}$ ). L'efficacité alimentaire de la farine fermentée est 2 fois plus élevée ( $0,22 \text{ g j}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ) que celle du témoin ( $0,1 \text{ g g}^{-1} / \text{j}^{-1}$ ). Par ailleurs, la digestibilité *in vitro* révèle une meilleure sensibilité de l'amidon de la farine fermentée (82 %) par rapport à celui de la farine non fermentée (48 %). Ces farines produisent *in vivo*, essentiellement de l'hydrogène et des acides gras à chaînes courtes caractéristiques d'un métabolisme fermentaire des fibres et de l'amidon résistant par la flore microbienne du cæcum. La performance alimentaire observée serait la conséquence de l'élimination par la fermentation, de certains facteurs antinutritionnels et de l'amélioration de la digestibilité *in vivo* de la farine fermentée.

**Mots clé :** digestibilité, efficacité, flatulence, fermentation, Côte d'Ivoire.

## ABSTRACT

### *EVALUATION OF THE NUTRITIONAL PERFORMANCE OF WEANING MIXED FLOUR IN THE YOUNG RAT*

*The maize, coopea and cassava bean flour was obtained from associated fermentation and given to young male rat wistar as food supplement. The fermented flour was more accepted by the rats ( $8,0 \pm 0,6\text{g}^{-1}\text{j}^{-1}$ ) than the non fermented composed flour controle ( $5 \pm 0,04 \text{ g}^{-1}\text{j}^{-1}$ ). The food efficiency of the fermented flower two was tinaes higher ( $0,22 \text{ g}^{-1}\text{j}^{-1}\text{g}^{-1}$ ) than that of the control ( $0,1\text{g}^{-1}\text{j}^{-1}\text{g}^{-1}$ ). Moreover, in vitro starch digestibility was found to fermented flower as compared 82 % in to that of non fermented composed flower (48 %). These flours produced in vivo essentially hydrogen and short chain fatty acid characteristic of a fermentation metabolism linked to the microbial flora of the caecum. The food performance observed could be the consequence of the elimination of some anti-nutritional factors and the improvement of the in vivo digestibility of flower by fermentation.*

**Key words :** digestibility, food efficiency, flatulence, fermentation, Côte d'Ivoire.

## INTRODUCTION

La malnutrition due à une carence touche une grande partie de la population mondiale. Parmi celle-ci, la malnutrition protéique frappe particulièrement les enfants en bas âge après le sevrage (Bertrand et Belleville, 1989). Elle apparaît en effet, comme la cause sous-jacente dans 54 % des cas de décès chez les enfants de moins de 5 ans dans le monde (Clugston, 1995). La liste des travaux qui y sont consacrés s'allonge chaque jour, les uns portant l'accent sur l'aspect pathologique ou socio-économique, d'autres préconisent des solutions. L'ensemble des efforts entrepris tend à améliorer le niveau alimentaire des enfants en relevant le niveau protéique. Ainsi, devant l'urgence des besoins, des organisations internationales et locales ont suscité et favorisé dans divers pays des études visant à mettre au point des aliments composés infantiles riches en protéines et destinés à compléter ou à suppléer les régimes de l'enfant. Les premiers résultats se sont avérés très décevants : l'efficacité nutritionnelle observée était très inférieure à celle attendue, compte tenu des résultats des indices chimiques (Jafri, 1973). Cette baisse d'efficacité était due à des facteurs antinutritionnels, en particulier, les polyphénols qui se lient à la lysine pour former un complexe polyphénollysine. Ce complexe diminue la valeur biologique des protéines en limitant la biodisponibilité de la lysine (Smith, 1970). En plus, la présence de légumineuses dans certains de ces aliments présente l'inconvénient pour l'enfant d'introduire dans ces farines composées des fibres et des oligosaccharides non digestibles. Ces sucres non assimilables passent dans le côlon pour y être fermentés par la microflore du côlon. Il en résulte des gaz qui sont à l'origine des flatulences, des crampes, des nausées ou même des diarrhées (Liener, 1980).

C'est une indigestion qui limite l'utilisation rationnelle de ce mélange d'aliments, fût-il une source importante de

protéines. Il est possible d'éliminer ces facteurs antinutritionnels par des procédés simples telle que la fermentation associée ou co-fermentation qui transforme ces sucres indigestes en sucres simples assimilables (Brou, 2000). Très peu de travaux réalisés sur une farine composée fermentée déterminent avec précision son efficacité nutritionnelle. C'est pourquoi, nous avons étudié la capacité d'une farine infantile composée, à assurer la performance nutritionnelle de jeunes rats, après élimination des facteurs anti-nutritionnels par la technique de co-fermentation. La farine de haricot est mélangée à des aliments classiquement utilisés (maïs, manioc, huile rouge de palme). La performance nutritionnelle de la farine composée fermentée est comparée à celle de la farine composée qui n'a pas subi de fermentation.

## MATERIEL ET METHODES

### Matériel biologique

La farine composée a été préparée à partir de mouture de maïs (25 %), de broyat de niébé rouge (40 %), de plantain mûr (9,5 %), de pâte de manioc IAC préfermentée (25 %) et de l'huile brute de palme (0,5 %).

Tous ces ingrédients ont été achetés sur le marché d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Le manioc préfermenté a été préparé au laboratoire.

### Obtention du manioc pré-fermenté

Le « magnan » est un ferment traditionnel à base de manioc utilisé dans la préparation de l'attiéké.

Il est obtenu à partir de tubercules de manioc cuits à la braise. Après les avoir épluchés, les tubercules sont laissés dans des jutes pour provoquer le rouissage. Ils sont ensuite broyés. Le ferment ainsi préparé est incorporé dans la pâte de manioc fraîche à hauteur de 3 %; le mélange cons-

titue le manioc préfermenté.

### **Préparation de la farine composée**

Après addition d'un volume d'eau (100 ml/100 g de matière sèche), le mélange est laissé fermenter pendant 48 heures à la température du laboratoire (25-30 °C) pour obtenir un mélange broyé comme illustré à la figure 1. Dans ce système, le ferment est constitué par le manioc naturellement préfermenté.

Après 2 jours de fermentation, de l'huile brute de palme est ajoutée en raison de 0,5 % et l'échantillon séché est broyé au Forplex avec des mailles de 0,5 mm de diamètre. La farine est stockée dans la chambre froide à 4 °C pour les analyses ultérieures. Parallèlement à la farine (FF) obtenue par fermentation, un autre type de farine (FNF) est préparée avec les mêmes ingrédients mais n'est pas soumise à la fermentation.

### **Aliments tests préparés à partir de FF et de FNF**

A 100 g de FF et de FNF, sont ajoutés 360 ml d'eau. Le mélange est chauffé pendant 15 minutes à 100 °C sur une plaque chauffante sous agitation manuelle continue pour former une bouillie. A la fin de la cuisson, 32 g de sucre de commerce sont ajoutés, ce qui permet d'obtenir une bouillie semblable à celle des aliments de complément pour bébés.

La bouillie ainsi obtenue est étalée dans des plateaux en aluminium (épaisseur : 1,5 cm), pesée et congelée à -20 °C.

Après lyophilisation, les échantillons secs sont broyés au Forplex puis homogénéisés au mélangeur Hobart. Tous les aliments sont pesés avant et après cuisson afin de déterminer le taux d'évaporation et d'apprécier la quantité d'aliment exprimée en g/matière sèche absorbée par les rats.

### **Matériel animal**

Dix huit rats mâles Wistar provenant de l'élevage Janvier CERJ (Centre d'Élevage de Rats Jeunes de Nantes) âgés d'une semaine avec un poids moyen de 33 g sont utilisés. Ces rats sont placés par groupe de 7 avec une nourrice, dans des cages en acier avec un contrôle de l'environnement à 22°-24 °C et 50 % d'hygrométrie.

Ils sont soumis chacun à des régimes sous la forme pulvérulente FNF et FF afin de les habituer à consommer ultérieurement ces aliments après le sevrage.

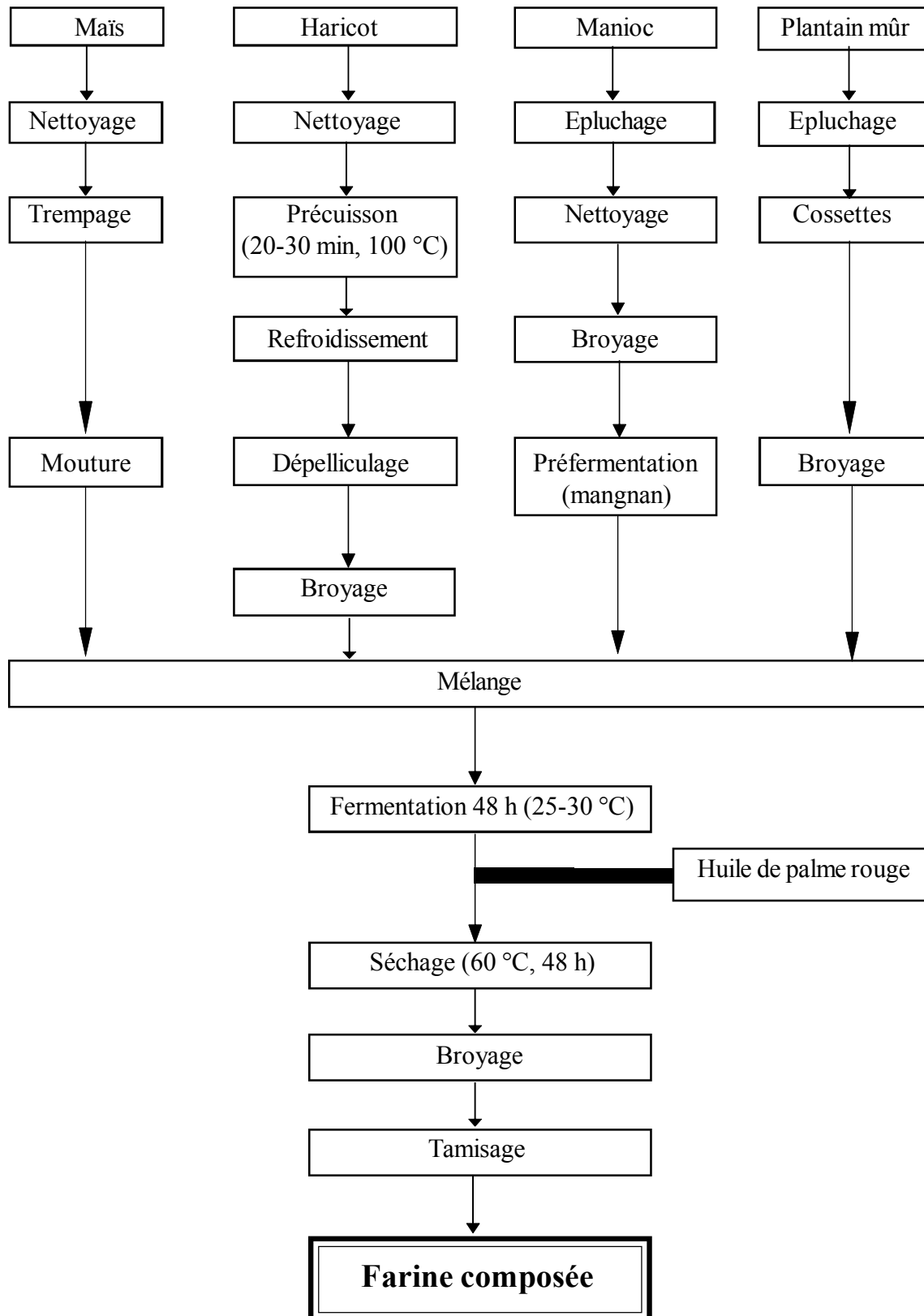
Après une semaine de conditionnement, les rats sont sevrés et placés par deux dans des cages individuelles et nourris pendant une période de 14 j avec l'aliment test. Certains reçoivent FF et d'autres FNF. La température de la salle est maintenue à 22 °C avec un éclairage de 8 h du matin à 8 h du soir.

### **Dosage des fibres dans les aliments**

La concentration en fibres a été déterminée selon le procédé de Prosky *et al.* (1988) qui utilise les amylases (Thermanyl 120 L et l'amyloglucosidase) et une protéase pour éliminer l'amidon et les protéines aux températures respectives de 100 °C et 60 °C. Les fibres totales, solubles sont précipitées dans un extrait alcoolique et les insolubles sont récupérées par filtration avant d'être dosées.

### **Digestibilité *in vitro* de l'amidon des farines**

L'hydrolyse de l'amidon *in vitro* par une amylase de pancréas de porc (160 IU d'enzyme par g d'amidon) a été suivie pendant 180 min à 37 °C (Bornet, 1986) dans du tampon phosphate 0,25 mM à pH7 contenant du CaCl<sub>2</sub> 0,25 mM et NaCl 1,75 mM.



**Figure 1 :** Diagramme de production de la farine infantile par la technique de co-fermentation.

*Flow chart of weaning flour production by co-fermentation technique.*

### Mesure de consommation et du gain de poids

Les prises alimentaires sont mesurées quotidiennement et le poids vif de chaque rat est contrôlé chaque deux jours à la même heure

### Mesure de gaz produits en chambre respiratoire

Après 14 j d'adaptation à l'aliment, les rats sont placés dans des chambres respiratoires par lot de deux. Tous les rats sont pesés à l'entrée et à la sortie des chambres respiratoires. Pendant ce temps, ils reçoivent une quantité d'aliment correspondant à 3 j de consommation moyenne durant la période d'adaptation.

A des intervalles réguliers de temps (0, 1, 6, 24, 30 et 48 h) les volumes de gaz produits sont prélevés à l'aide d'une seringue à gaz et dosés après une dilution au 1/6 et 1/24 (Lecoz *et al.*, 1989).

### Dosage des acides gras à chaîne courte

Les acides gras à chaînes courtes (AGCC) du surnageant obtenu après centrifugation du contenu caecal, ont été dosés par Chromatographie en Phase Gazeuse en injectant 1 µl de ce surnageant.

## RESULTATS

### Fibres

La teneur en fibres totales est de 4,27 g pour 100 g de matière sèche dans la FNF et de 3,65 g pour 100 g de matière sèche dans FF. La fermentation fait baisser dans les mêmes rapports le taux de fibres solubles et insolubles qui sont respectivement de  $1,68 \pm 0,02$  et de  $1,97 \pm 0,03$  (tableau 1).

**Tableau 1 :** Teneur en fibres de farines composées non fermentées (FNF) et fermentée (FF) (g/100g m.s.)

*Fiber content of non fermented (FNF) and fermented mixed flours (FF) (g/100 g m.s.)*

Types de fibres	Teneur en fibres des farines composées ( $j 100 g^{-1} m s$ )	
	Farine non Fermentée (FNF)	Farine Fermentée (FF)
Fibres solubles	$1,93 \pm 0,03$	$1,68 \pm 0,02$
Fibres insolubles	$2,34 \pm 0,02$	$1,97 \pm 0,03$
Fibres totales	$4,27 \pm 0,23$	$3,65 \pm 0,25$

\* Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  SD pour n = 3 échantillons m.s. : matière sèche

### Acceptabilité et efficacité alimentaire de FNF et de FF.

FF a été mieux acceptée que FNF au regard des consommations respectives

de  $8,0 \pm 0,6 \text{ g} \cdot \text{j}^{-1}$  et de  $4,9 \pm 0,4 \text{ g} \cdot \text{j}^{-1}$  (tableau-2). L'efficacité alimentaire est deux fois plus importante chez les rats alimentés avec FF ( $0,22 \text{ g} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ) que celui du témoin FNF ( $0,1 \text{ g} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ) (tableau 2).

**Tableau 2 :** Consommation de farine infantile composée fermentée et non fermentée chez le rat et efficacité alimentaire

*Food intake of weaning mixed fermented and non fermented flours and food efficiency.*

Farines	Consommation ( $\text{g}^{-1}$ )	Efficacité alimentaire ( $\text{g}^{-1}$ aliment)
Farine		
Fermentée	$8,0 \pm 0,6$	0,22
Farine non		
Fermentée	$4,9 \pm 0,4$	0,10

\* Chaque valeur représente la moyenne SD pour n = 6 rats  
FF ;FNF : idem. Tableau 1

### Digestibilité de l'amidon *in vitro*

La vitesse d'amylolyse, exprimée en pourcentage d'amidon dégradé au cours du temps, par l' $\alpha$ -amylase pancréatique de porc sur FNF et FF est présentée sur la figure 2. Après 3 heures d'hydrolyse enzymatique, l'amidon de FF est dégradé à 82 % contre 48 % pour l'amidon de FNF.

### Production des gaz

Le volume des gaz produits par les rats ayant ingéré les différentes farines est consigné dans le tableau 3.

Les rats alimentés avec FNF excrètent moins d'hydrogène que ceux nourris avec FF.

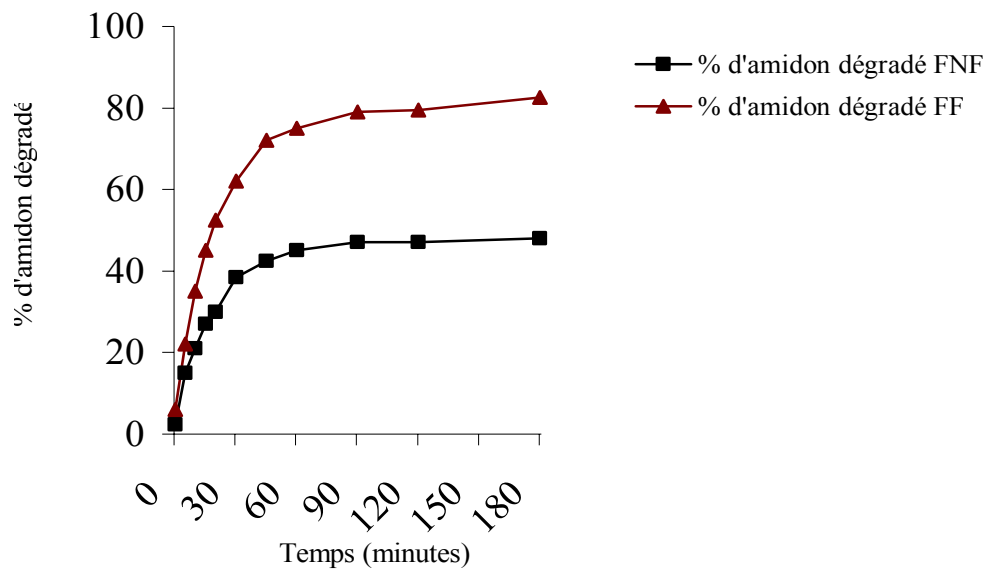
Le volume d'hydrogène rapporté au poids métabolique des rats est de  $10,8 \pm 3,3 \text{ ml} / 24 \text{ h} / 50 \text{ g}$   $P^{0,75}$  chez les rats nourris

avec FNF et de  $11,4 \pm 1,6 \text{ ml} / 24 \text{ h} / 50 \text{ g}$   $P^{0,75}$  chez les rats nourris avec FF.

### Production d'acides gras à chaîne courte (AGCC)

Les produits obtenus de la fermentation des sucres non digestibles contenus dans les farines sont les acides gras à chaîne courte (AGCC) révélés au niveau du caecum.

La concentration en AGCC totaux est plus élevée avec les rats soumis à FF ( $331,5 \pm 70 \mu\text{g} / \text{g}$  de caecum) que celle des rats nourris avec FNF ( $270,50 \pm 55,24 \mu\text{g} / \text{g}$  de caecum) (tableau 4). Ces acides gras à chaîne courte sont composés d'acétate, de propionate et de butyrate. L'acétate est dans tous les cas quantitativement plus produit que le propionate et le butyrate.



**Figure 2 :** Cinétique de digestibilité in vitro de l'amidon de farine composée fermentée et non fermentée.

*In vitro starch digestibility of fermented and non fermented mixed flour.*

**Tableau 3 :** Production d'hydrogène par les rats ayant ingéré des farines composées fermentées et non fermentées.

*Production of hydrogen by the rats fed with mixed fermented and non fermented flours.*

Farines	Production d'Hydrogène	
	ml/24h	ml/24h/50 g $P^{0,75}$
Farine non Fermentée (FNF)	$7,7 \pm 1,8$	$10,8 \pm 3,3$
Farine Fermentée (FF)	$10,0 \pm 1,5$	$11,4 \pm 1,6$

\* Chaque valeur représente la moyenne SD pour n = 6 rats

**Tableau 4** : Concentration des acides gras à chaînes courtes du *caecum* chez les rats recevant les farines composées non fermentée (FNF) et fermentée (FF) \*

*Concentration of short-chain fatty acids in the caecum of rats receiving mixed non fermented and fermented flours*

Acides gras	Concentrations en acides gras des farines ( $\mu\text{mol/g caecum}$ )	
	Farine non Fermentée	Farine Fermentée
Total acide gras à chaînes courts (AGCC)	270,5 $\pm$ 55,2	331,5 $\pm$ 70,7
Acétate	167,6 $\pm$ 28,9	199,1 $\pm$ 36,9
Propionate	71,2 $\pm$ 17,6	87,9 $\pm$ 21,2
Butyrate	32,6 $\pm$ 8,6	44,5 $\pm$ 12,6

\* Chaque valeur représente la moyenne  $\pm$  SD pour 6 rats

## DISCUSSION

Les rats ayant ingéré les farines (FNF et FF) sous leur forme pulvérulente se comportent différemment. Toutefois leur ingestion n'a entraîné chez les rats ni maladie apparente, ni mortalité. La farine testée ne présente donc pas de toxicité apparente. FNF est cependant plus difficilement acceptée que FF. Les facteurs antinutritionnels tels que les inhibiteurs de protéases diminueraient l'acceptabilité (Guen et Birk, 1993).

Ces inhibiteurs étant en partie dégradés par la fermentation, la qualité organoleptique ainsi que l'appétence devraient s'améliorer (Khetarpaul et Chauhan, 1990).

L'efficacité alimentaire qui est déduite de cette consommation en relation avec le gain de poids corporel des animaux traduit une meilleure qualité nutritionnelle de FF

par rapport à FNF. La FNF contient beaucoup plus de facteurs antinutritionnels (Brou, 2000).

La faible performance de la croissance des rats alimentés avec FNF pourrait être donc due à tous ces facteurs qui opèrent de façon synergique.

La fermentation améliore la qualité protéique de l'aliment, facilite sa digestibilité *in vivo* ce qui se traduit par une meilleure croissance des rats.

La fermentation améliore nettement la digestibilité de l'amidon à l' $\alpha$ -amylase pancréatique. Ce résultat corrobore les études de Zamora et Fields (1979). L'amélioration de la digestibilité proviendrait d'une part de la disponibilité de l'amidon vis à vis des enzymes (Cronk *et al.* 1977) et d'autre part de l'élimination des inhibiteurs de l'amylase que sont les phytates et les polyphénols (Thompson et Yoon, 1984).



Les farines que sont FNF et FF ont le même niveau de flatulence. Sachant que les oligosaccharides sont éliminés (Brou, 2000), l'amidon résistant et les fibres contribueraient à développer les flatulences (Champ *et al.*, 1990). Le gaz produit étant essentiellement de l'hydrogène, ce résultat est attribué à la fermentation de l'amidon résistant (Calloway, 1966; Tadesse et Eastwood, 1978). La production de l'acétate, de propionique et de butyrate confirme qu'il s'agit d'un métabolisme glucidique fermentaire par la microflore du caecum.

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent bien que (FF) est la mieux acceptée et la plus efficace vis-à-vis de (FNF). L'efficacité alimentaire de la farine composée est améliorée d'un facteur de 2 par le procédé de co-fermentation. La fermentation a nettement amélioré l'utilisation digestive de l'amidon ce qui s'est traduit par une plus grande digestibilité.

Le coût des farines industrielles n'étant pas à la portée de la population visée, FF présente un intérêt non négligeable. Ainsi, la FF peut parfaitement remplacer les farines industrielles comme farine de récupération nutritionnelle, chez de jeunes rats. Et comme le rat est plus exigeant que l'enfant au niveau de ces besoins en acides aminés indispensables, ces résultats peuvent servir pour l'enfant.

## BIBLIOGRAPHIE

- BERTRAND (V.) et (J.) BELLEVILLE. 1987. Efficacité de la farine de coton sur la récupération nutritionnelle de jeunes rats ayant subi une carence protéique sévère. *Nutr. Clin. Métabol.* 3 : 17-25.
- BORNET (F.). 1986. Etude des relations entre les propriétés physico-chimiques de glucides assimilables et leurs effets hyper glycémiants et insulinémiants chez l'homme sain ou diabétique et chez le porc. Thèse de doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Nutrition. Paris VII.
- BROU (K.). 2000. La co-fermentation comme stratégie pour l'amélioration de la valeur nutritionnelle des aliments de complément dans les pays en développement. Thèse de doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 125p.
- CALLOWAY (D.H.). 1966. Respiratory hydrogen and methane as affected by consumption of gas-forming foods. *Gastroenterol.* 51 (3) : 383-389.
- CHAMP (M.), BARRY (J.L.), BONNET (C.), BEROT (S.), DELORT-LAVAL (J.). 1990. Responsibility of the cell wall polysaccharides in the flatus induced by consumption of legume seed (lupin) in the rat. *Sci. Alim.* 10 : 317-323.
- CLUGSTON (G.). 1995. Avant-propos. In TRECHE S., de BENOIST B., BENBOUZID D., DELPEUCH F., éd L'alimentation complémentaire du jeune enfant, Paris, Editions Orstom, collection. Colloques et séminaires: sous presse.
- CRONK (T.), STEINKRAUSS (K.H.) HACKLER (L.R.), MATTICK (L.R.). 1977. Indonesian tape ketan fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 33 : 1067-1070.
- GUEN (M.P.) and (Y.) BIRK. 1993. Protease inhibitors from legume seeds : nutritional effects, mode of action and structure-function relationship. In : *Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume seeds*, ed van der Poel AFB, Huisman J and Saini H.S., Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. 157-171.
- JAFRI (A.A.). 1973. A note on some nutritional values of cottonseed and its prospects for human consumption. *Pak. Cot.* 17 : 105-110.
- KHETARPAUL (N.) and (B.M.) CHAUHAN. 1990. Fermentation of pearl millet flour with yeasts and lactobacilli : in vitro digestibility and utilisation of fermented flour for weaning mixtures. *Plant Foods for human Nutr.* 40 : 167-173.
- LeCOZ (Y.), MOREL (M.T.), BOUS-SEBOUA (H.), DUFOUR (C.), SZILIT (O.). 1989. Mise au point d'une chambre respiratoire connectée sur isolateur pour la mesure *in vivo* des gaz de fermentation chez l'animal gnoto-xénique. *Sci. Tech. Anim. Labo.* 14 : 35-39.
- LIENER (I.E.). 1980. Toxic constituents of foodstuffs. *Acad. Press.* 455-467.

- PROSKY (L.), ASP (N.G.), SCWEISER (T.F.), DEVRIES (J.W.), FURDA, (I.). 1988. Determination of insolubles, soluble and total dietary fiber in foods and food product. Interlaboratory Study. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 75 : 1017-1023.
- SMITH (F.H.) and (A.J.) CLAWSON. The effects of dietary gossypol on animals. J. Am. Oil Chem. Soc. 47: 443-447.
- TADESSE (K.) and (M.A.) EASTWOOD. 1978. Metabolism of dietary fiber components in man assessed by breath hydrogen and methane. Br. J. Nutr. 40 : 393-396.
- THOMPSON (L.U.) and (J.A.) YOON. 1984. Starch digestibility as affected by polyphenols and phytic acid. J. Food Sci. 49 : 1228-1229.
- ZAMORA (A.F.) and (M.L.) FIELDS. 1979. Nutrition quality of fermented cowpeas and chick peas. J. Food Sci. 44 : 234-236.