

# FORTIFICATION DES FARINES TROPICALES PAR L'INTRODUCTION DE PROTEINES VEGETALES ET DE CHAMPIGNONS COMESTIBLES

L.S.TOUNKARA<sup>1\*</sup>, M.S. SOW<sup>1</sup>, C. BEYE<sup>1</sup>, A.F. LY<sup>2</sup>, M. SAMBE<sup>1</sup>, Y. NDIAYE<sup>1</sup>, M.A. SECK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut de Technologie Alimentaire, Division de Biotechnologie, 276500, Sénégal

<sup>2</sup> Université d'Abomey Calavy, Faculté des Sciences et Techniques, Bénin

*tounkara61@hotmail.com ltounkara@ita.sn*

## RESUME

La fortification des aliments de base des populations constitue un moyen efficace pour contribuer à la lutte contre l'insécurité alimentaire. Le présent travail a consisté à incorporer les champignons comestibles, *Pleurotus florida* et la pâte de niébé dans la farine de mil. Pour y parvenir, les champignons sont produits sur des substrats à base de son de riz et de paille d'arachide. La méthode d'incorporation utilisée pour assurer le mélange est la cuisson-extrusion du type mono vis. Les farines obtenues avec ou sans ajout des champignons sont caractérisées sur le plan nutritionnel. Les résultats obtenus ont montré que les teneurs en protéines des farines varient de 13,27 % à 18,48 %, celles en minéraux de 4,68 % à 8,98 %, le fer de 92,28 % à 101,89 %, le magnésium de 3,10 % à 3,32 %, le zinc et la matière grasse de 10,75 % à 11,90 %. Au vu des résultats obtenus, la meilleure farine serait la farine composée qui présente une teneur en protéines comprise entre 15 et 22,6 %, valeur recommandée par le *Codex Alimentarius* pour ce type de complément alimentaire destiné aux enfants. Dans ce mélange, après extrusion, tous les minéraux ont augmenté de 5,76 mg/100g pour le fer, 101,89 mg/100g pour le magnésium, et de 3,32 mg/100g pour le zinc. Parallèlement, le taux de matière grasse est de 11,90 %, inférieur à la valeur normale (15,5 %) fixée par le *Codex Alimentarius*.

**Mots clés :** *Champignons comestibles, farine fortifiés, farine de mil, niébé*

## ABSTRACT

### **SUPPLEMENTATION OF TROPICAL FLOURS WITH THE INTRODUCTION OF VEGETABLE PROTEINS AND EDIBLE MUSHROOMS**

*Supplementation of basic food of the populations constitutes an effective means to contribute to the fight against the food insecurity. This work consisted in incorporating edible mushrooms, Pleurotus florida and cowpea in millet flour. For that purpose, the mushrooms are produced on substrates containing rice bran and groundnut straw. The method of incorporation used to ensure the mixture is the cooking-extrusion of the mono type live. The flours obtained with or without addition of the mushrooms (composed flour 1 and composed flour 2) are characterized on nutritional status. The results obtained showed that the proteins contents of the flours vary from 13.27 % to 18.48 %, iron from 4.68 % to 8.98 %, magnesium from 92.28 % to 101.89 %, zinc from 3.10 % to 3.32 %, and fat content from 10.75 % to 11.90 %. Considering the results obtained the best flour would be the mixed flour 1 which presents proteins content ranging between 15 and 22.6 %, value recommended by the Codex Alimentarius for this type of food complement intended for the children. In this mixture after extrusion all the minerals increased by 5.76 mg/100g for iron, 101.89 mg/100g for magnesium, and of 3.32 mg/100g for zinc. In fact the fat content 11.90 %, was lower than the normal value (15.5 %) fixed by the Codex Alimentarius.*

**Key words :** *Edible mushrooms, fortified millet flour, cowpea.*

## INTRODUCTION

Les céréales sont depuis des siècles d'importantes denrées alimentaires de base dans les régions tropicales semi-arides d'Asie et d'Afrique. Elles sont considérées comme la principale ressource alimentaire de l'homme et des animaux. Elles possèdent un pouvoir nutritionnel important (Molinie et Pfohl-Leszhowicz, 2003) et demeurent depuis toujours la principale source d'énergie, de protéines, de vitamines et de sels minéraux pour des millions de personnes, en particulier celles vivant dans les pays pauvres ou en voie de développement.

Les champignons comestibles ont une valeur nutritive proche de celle du lait (Chang, 1989) et peuvent donc jouer un rôle important dans la fortification des aliments pour enfants. En effet, il a été rapporté que les champignons contribuent fortement à la subsistance des populations africaines, surtout au sud du Sahara, grâce à leurs valeurs nutritionnelles non négligeables (Dekesel et al., 2002). Les champignons comestibles contiennent une quantité raisonnable de protéines, de glucides, de minéraux, de fibres et de vitamines (Oei, 1996). Par contre, ils renferment peu de calories, de graisses, de cholestérol (Chang, 1996), et de sodium. Les champignons sont utilisés en tant qu'agents thérapeutiques dans la médecine traditionnelle notamment celle en Chine (Peterson, 2008). Aux États-Unis, l'Institut national du cancer a choisi certains champignons comme une source de nouveaux médicaments pour le traitement du cancer. Les valeurs ethno-médicinales des champignons comestibles ont été rapportées par des Chercheurs (Chang, 1999). Cependant, ils ont observé un manque d'intérêt total des régions d'Afrique, notamment en Afrique de l'Ouest quant à l'exploitation et la commercialisation des champignons comestibles.



**Figure 1** : Conservation des souches sur gélose incliné

*Stem preservation on slant agar*

Le présent travail a pour objectif principal la maîtrise de la technologie de production de champignons comestibles à partir des résidus post récoltes de céréales sèches, et leur utilisation dans les formules de fortification des denrées alimentaires locales en tant que sources de minéraux et de protéines.

## MATERIEL ET METHODES

### MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est constitué des variétés locales de mil (*Pennisetum glaucum*), de niébé (*Vigna unguiculata*) et d'arachide (*Arachis hypogaea*), issues du marché local. Le choix de l'arachide s'explique non seulement du fait de sa contribution en élément nutritif dans les formulations, mais aussi pour des raisons techniques en tant que lubrifiants du dispositif d'extrusion.

### MATERIEL BIOLOGIQUE

La souche biologique de champignon utilisée dans ce travail est obtenue à partir de la collection de la Division de Biotechnologie de l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA). Il s'agit particulièrement de *Pleurotus florida* initialement conservée à la température de 4 °C sur gélose inclinée (Figure 1). Son renouvellement s'est effectué dans des conditions stériles sous hotte à flux laminaire. Les souches ensemencées sur gélose Potatoe Dextrose Agar (PDA) sont incubées à la température de 30 °C jusqu'à ce que le mycélium envahisse totalement la boîte de Petri (Figure 2). Elles sont ensuite conservées à la température de 4 °C dans cet état jusqu'à leur future utilisation, notamment durant la phase de préparation de (blanc mère) ou spawm.



**Figure 2** : Culture de *Pleurotus florida* sur boîte de pétri

*Crop of Pleurotus florida on petri dish*

### PRODUCTION DU BLANC DE CULTURE

La préparation du blanc de culture s'est effectuée dans des conditions aseptiques rigoureuses. En effet, pour garantir des cultures saines à partir des boîtes de Pétri, la propagation du mycélium est réalisée sur fiole de roux avec du PDA comme milieu de base (Figure 3), avant d'être développé sur un substrat à base de sorgho. Pour cette étape, les graines de sorgho (Figure



**Figure 3 :** Propagation du mycélium sur fiole de roux  
*Propagation of mycelium on red flask*

4), après triage sont bouillies pendant 15 minutes, ensuite stérilisées à la température de 121 °C dans des flacons de 500 à 1000 ml, avant d'êtreensemencées avec le mycélium du champignon préalablement préparé en fiole de roux. L'incubation est faite dans le noir à la température de 30 °C pour permettre un bon développement du mycélium à travers les graines de sorgho (Oei, 1996).



**Figure 4 :** Préparation des graines de sorgho  
*Preparation of sorghum seeds*

### PREPARATION DES SACS DE CULTURE

La paille de riz ou d'arachide triée et émiettée est trempée pendant 24 heures et ensuite essorée pour maintenir un taux d'humidité de 60 %. Ensuite, du son de riz est rajouté à raison de 20 % (pds/pds), le mélange est pasteurisé à la température de 100 °C pendant 4 heures.



**Figure 5 :** Blancs mère en cours d'incubation  
*Mother whites in the process of incubation*

Le substrat refroidit à la température de 30 °C estensemencé avec le blanc mère (Figure 5) avant d'être incubé à la même température de 30 °C dans une chambre noire pendant 2 à 3 semaines jusqu'à la propagation totale du mycélium dans le substrat (Figure 6), suivant la méthode proposée par Oei (1996).



**Figure 6 :** Substrat envahi par le mycélium  
*Substrate invaded by mycelium*

## PHASE DE FRUCTIFICATION

Elle est réalisée en assurant un bon apport en oxygène, une bonne humidité et de la lumière.

Dans ces conditions la fructification est effective après au mois trois jours (Figure 7).



**Figure 7 :** Fructification  
Fructification

## SECHAGE DES CHAMPIGNONS

Les champignons produits sont séchés à l'étuve pendant 5 jours à la température de 45 °C. Ils sont ensuite broyés à travers un tamis d'ouverture de maille 3,15 mm pour avoir une granulométrie adéquate pour le cuiseur extruder. La poudre de champignons obtenue est ajoutée à la farine composée suivant le ratio de 1 : 1.

## PRETRAITEMENT DU MATERIEL VEGETAL

La farine composée est préparée selon les proportions suivantes : 70 % de mil, 15 % de niébé et 15 % d'arachide. Avant la cuisson-extrusion, elle subit les opérations suivantes :

Le nettoyage-calibrage, consiste à éliminer les impuretés présentes dans le mil et d'avoir des grains de même taille. Il est réalisé à l'aide d'un vibro-tamiseur (SOWECO) qui comporte trois compartiments séparés par deux tamis de 1,5 mm (tamis supérieur) et 1mm (tamis inférieur) d'ouverture de mailles pour le mil et 4,75 mm (tamis supérieur) et 2,80 mm (tamis intérieur) d'ouverture de mailles pour le niébé. Cette étape permet de limiter considérablement le passage des impuretés dans les produits finis et d'avoir un décortiquage efficace ;

Le décortiquage est réalisé à l'aide d'une décortiqueuse à disque abrasifs de type Nuhull fabriquée par la Société Sénégalaise SISMAR qui permet d'enlever les enveloppes et une partie du germe. Le produit est mis dans la chambre de décortiquage pendant 3 à 4 mn. Au bout de ce temps, l'ensemble passe à la chambre de

séparation équipée d'un tamis d'ouverture de mailles de 1mm où le son et les graines décortiquées sont séparés ;

La mouture/broyage, du fait de la présence de fines particules difficiles à éliminer dans le lot du petit mil, il a été effectué un lavage suivi d'un égouttage avant de procéder à la mouture à l'aide d'un moulin à marteaux fixe de 3000 tours/min équipé d'un tamis d'ouverture de mailles de 1 mm. Par contre, le gros mil a été broyé à sec à l'aide du même moulin à marteaux fixe de 3000 trs/min équipé d'un tamis de 2 mm et le moyen moulu à sec à travers un tamis d'ouverture de mailles de 1mm

## CUISSON-EXTRUSION

La cuisson-extrusion est réalisée avec un cuiseur-extruder mono vis dans les conditions suivantes :

Fréquence : 48,2 Hertz ;

Température : 150 °C avec un temps de passage du produit de 30 secondes ;

900 tours/minutes.

Elle est réalisée sur deux échantillons :

cuisson-extrusion de la farine composée de mil, du niébé et d'arachide (FC) et ensuite ajout de champignons comestibles suivant le ratio 1 : 1 (FCECh) ;

cuisson-extrusion de la farine composée de mil, du niébé et d'arachide en plus des champignons comestibles suivant le ratio 1 : 1 (FCCHE).

Après la cuisson-extrusion tous les produits obtenus sont broyés à l'aide d'un moulin à marteaux tournant à 3000 tours/minute à travers un tamis d'ouverture de mailles de 0,5 mm.

#### DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES MATIERES PREMIERES ET DES PRODUITS FINIS

Les analyses physico-chimiques ont été menées sur sept échantillons de 100 g chacun :

Les champignons comestibles produits ;

Les matières premières constituant la farine composée (le mil, le niébé et l'arachide) ;

La farine composée avant extrusion (FC) ;

La farine composée avec ajout de champignons suivi de l'extrusion (FCChE) ;

La farine composée extrudée suivie de l'ajout de champignons (FCECh).

Les paramètres analysés sont l'humidité, la teneur en protéines, la teneur en matière grasse et la teneur en minéraux.

L'humidité a été déterminée par déshydratation à l'étuve à la température de  $105^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 4 heures d'une prise d'essai introduit dans une capsule séchée et tarée au préalable jusqu'à poids constant selon la méthode AOAC (2007). Après refroidissement le poids est pesé à nouveau.

La teneur en protéines est réalisée par la méthode classique de Kjeldahl (AOAC, 2007) sur une prise d'essai de 100 g. Le principe est basé sur la transformation de l'azote organique contenue dans la prise d'essai en sulfate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  par de l'acide sulfurique concentré à chaud et en présence d'un catalyseur (100 g de sulfate de potassium, 10 g de sulfate de cuivre, et 1g de sélénium). Après cette étape de minéralisation, les produits de la réaction sont alcalinisés suivie de la distillation pour récupérer l'ammoniac libéré et enfin au dosage de ce dernier.

La teneur en matière grasse est déterminée par libération de la matière grasse par extraction par

un solvant organique non miscible à l'eau (N-Hexane) suivie de l'évaporation du solvant et pesée de l'extrait lipidique après dessiccation à l'étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 30mn selon la méthode AOAC (2007). L'appareil utilisé est le SOX THERM / MULTISTAT.

La teneur en minéraux est déterminée par spectrophotométrie (AOAC, 1995) à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique sur une prise d'essai de 100 g.

#### ANALYSES STATISTIQUES

Les calculs de moyenne des répétitions et les graphiques ont été réalisés sur Excel 2010. Les analyses statistiques des variables mesurées ont été effectuées avec le logiciel XL-STAT 6.1.9. Les données obtenues ont été soumises à l'analyse de la variance ANOVA et les moyennes ont été comparées par le test de Newman et Keuls avec un intervalle de confiance à 95 %.

#### RESULTATS

##### CULTURE DE PLEUROTUS FLORIDA

Après 15 jours d'incubation dans le noir et en l'absence d'oxygène, le mycélium du champignon a complètement envahi le substrat (Figure 6). La fructification débute dès que les conditions environnementales s'y prêtent, c'est-à-dire un bon apport en oxygène, suffisamment de lumière et une humidité assez élevée. Elle est effective après 48 heures et est matérialisée par les bourgeonnements sur le substrat (Figure 7).

La maturation survient dans les 72 heures (Figure 8), temps pendant lequel les champignons atteignent leur poids maximum avec un taux d'humidité avoisinant les 90 % comme le montre le Tableau 1. De même il est remarquable que la masse est plus concentrée au niveau du chapeau alors que le pied contient relativement beaucoup plus d'eau (88,29 %) pour cette variété de champignon.



**Figure 8 :** *Pleurotus florida* mature

*Pleurotus florida* mature

**Tableau 1 :** Répartition massique des champignons et leur humidité

*Mass distribution of mushrooms and their moisture content*

	Chapeau	Pied
Répartition massique, %	80,96	19,40
Humidité, %	85,23	88,29

#### CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES CHAMPIGNONS PRODUITS

La composition chimique des champignons produits (mg/100g) montre que la teneur en

phosphore est très élevée 2634,80 mg/100g (Tableau 2). La teneur en protéine est de 08,02 % et le taux d'humidité est de 86,80 %. La teneur en calcium est de 210,6 mg/100g et celle en cuivre de 0,35 mg/100g (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Composition chimique *Pleurotus florida*

*Chemical composition Pleurotus florida*

Paramètres	Teneur
Humidité, %	86,80 ± 0,46
Protéine (Nx6,25) ; %	8,02 ± 0,52
Magnésium, mg/100g	0,64 ± 0,04
Fer, mg/100g	2,34 ± 0,21
Sodium, mg/100g	72,43 ± 0,50
Calcium, mg/100g	210,6 ± 0,42
Potassium, mg/100g	824,65 ± 0,44
Phosphore, mg/100g	2634,80 ± 0,60
Cuivre, mg/100g	0,35 ± 0,04

#### CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DE LA MATIÈRE PREMIÈRE MIL, NIEBE ET D'ARACHIDE.

En ce qui concerne la composition chimique des matières premières constituant la farine composée (Tableau 3), les résultats montrent que les teneurs en humidité des trois céréales

sont inférieures à 15,5 % maximum fixé par le *Codex Alimentarius*. La teneur en protéines du niébé est très élevée, 26,38 %. La matière grasse varie de 1,63 à 50,27 % respectivement pour le niébé et l'arachide. La teneur en fer varie de 3,28 mg/100g à 6,03 mg/100g, en magnésium de 57,23 mg/100g à 145,88 mg/100g et en zinc de 2,47 mg/100g à 3,65 mg/100g.

**Tableau 3** : Composition chimique des matières premières constituant la farine composée*Chemical composition of the raw materials constituting the compound flour*

	Humidité %	Protéine (Nx6,25),%	Matière grasse,%	Fer mg/100g	Magnésium mg/100g	Zinc mg/100g
Mil	8,95 <sup>a</sup> ± 0,20	9,77 <sup>a</sup> ± 0,24	2,96 <sup>b</sup> ± 0,12	4,68 <sup>b</sup> ± 0,39	57,23 <sup>a</sup> ± 0,17	2,47 <sup>a</sup> ± 0,12
Niébé	9,92 <sup>b</sup> ± 0,11	26,38 <sup>b</sup> ± 0,55	1,63 <sup>a</sup> ± 0,06	6,03 <sup>c</sup> ± 0,06	145,88 <sup>c</sup> ± 0,21	3,65 <sup>c</sup> ± 0,12
Arachide	4,43 <sup>c</sup> ± 0,06	25,8 <sup>b</sup> ± 0,26	50,27 <sup>c</sup> ± 0,09	3,28 <sup>a</sup> ± 0,11	144,92 <sup>b</sup> ± 0,21	3,28 <sup>b</sup> ± 0,06

Les valeurs correspondent à la moyenne (± l'écart type). Les chiffres portant des lettres différentes sont significativement différentes (p value < 0,05) pour le même élément paramètre

#### CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES FARINES COMPOSEES SUIVANT LES DIFFERENTS TRAITEMENTS

Le Tableau 4 présente la composition chimique de la farine composée avant extrusion (FC), après extrusion puis ajout de champignons (FCECh) et après ajout de champignons suivi de l'extrusion (FCChE). La farine composée avant extrusion a une teneur en humidité très supérieure à la valeur maximale fixée par le

*Codex Alimentarius*. Après l'extrusion cette teneur baisse de 18,48 % à 8,01 %. Après extrusion et ajout de champignons, les teneurs en protéine, matière grasse, fer, magnésium et zinc calculées sur la base de la matière sèche du produit fini ont varié. Les teneurs en protéines (16,48 %) et en humidité (18,48 %) avant extrusion ont varié respectivement à 15,27 % et 8,01 % après extrusion et ajout de champignons.

**Tableau 4** : Composition chimique de la farine composée avec les différents traitements*Chemical composition of the compound flour with different treatments*

	Humidité %	Protéine (Nx6,25),%	Matière grasse,%	Fer mg/100g	Magnésium mg/100g	Zinc mg/100g
FC	18,48 ± 0,53	16,27 ± 0,10	10,83 ± 0,03	4,79 ± 0,22	96,72 ± 0,31	3,10 ± 0,10
FCECh	8,01 ± 0,14	15,27 ± 0,09	11,9 ± 0,19	5,76 ± 0,25	101,89 ± 0,16	3,32 ± 0,06
FCChE	6,05 ± 0,12	13,73 ± 0,30 ?à la norme (15-22,6%)	10,75 ± 0,29	8,98 ± 0,12	92,28 ± 0,71	3,24 ± 0,20

## DISCUSSION

L'analyse de la composition chimique des champignons montre qu'ils sont très riches en minéraux indispensables dans la nutrition humaine. En effet, le phosphore intervient au stockage et à la libération de l'énergie chimique. Il est indispensable à la structure membranaire et à sa perméabilité. Il contrôle par ailleurs de nombreuses activités enzymatiques. Combiné au calcium, ils forment la structure osseuse. Le phosphore sert également d'outil de construction dans la formation des grands assemblages moléculaires du monde vivant. Mis à part sa fonction structurelle dans le squelette et les dents dont il est le constituant minéral le plus important, le calcium joue aussi un rôle prédominant dans le déclenchement d'événements

physiologiques : activation enzymatique, contraction musculaire, sécrétion vésiculaire, neurotransmission, coagulation sanguine et division cellulaire. Quant au cuivre, il est impliqué dans toute une série de réactions d'oxydoréduction, comme élément d'enzymes. Ces enzymes sont essentiels dans la chaîne respiratoire, la synthèse des protéines du collagène, la synthèse et la maintenance de la myéline, la synthèse des neurotransmetteurs, le métabolisme du fer, et la protection contre les risques d'oxydation.

L'extrusion réalisée à haute température et/ou à faible teneur en eau peut augmenter le nombre de ponts disulfures au sein des protéines et cette augmentation peut provoquer une diminution de la digestibilité des protéines (Ljokjel *et al.*, 2000). La teneur de 15,27%

obtenue répond aussi aux normes de la FAO/OMS qui stipule que la teneur en protéines des farines destinées aux enfants soit comprise entre 15 et 22,6%. Etant donné que la valeur nutritionnelle de protéines dépend de la proportion, de la digestibilité et de la disponibilité de l'amidon (Cheftel, 1986; Alonso *et al.*, 2000), des acides aminés essentiels, Marsman *et al.* (1995) par des tests *in vitro*, ont indiqué que l'extrusion permet d'augmenter de 60 à 81% la digestibilité des protéines. Ces résultats sont aussi confirmés par Cheng et Hardy (2003) par des tests *in vivo* réalisés sur des poissons.

L'augmentation de la teneur en minéraux s'expliquerait par la destruction ou la diminution des facteurs antinutritionnels rendant ainsi disponibles les minéraux. En effet, Hazell et Johnson (1989) ont montré que l'extrusion améliore la biodisponibilité en fer. L'extrusion permet de diminuer l'activité de certains facteurs anti-nutritionnels ou toxiques, et de détruire la plupart des microorganismes pathogènes (Cheftel, 1986). Cette capacité à diminuer ou à détruire les activités antinutritionnelles est particulièrement intéressante pour les mélanges contenant des graines de légumineuses. L'extrusion, en contribuant à l'inactivation ou la destruction des facteurs antinutritionnels, permet ainsi d'améliorer la digestibilité des protéines. De même, Onyango *et al.* (2004) ont montré que l'extrusion améliore nettement la digestibilité des protéines dans des extrudats préparés à partir de farine de *uji* (aliment fermenté à partir de petit mil, sorgho, manioc). Abd El-Hady et Habiba (2003) ont montré par des tests *in vitro*, que la digestibilité des protéines de quatre espèces de légumineuses (petit pois, pois chiches, fève et haricot commun) est améliorée par l'extrusion. L'amidon de niébé extrudé à 180 °C possède une meilleure digestibilité que celui de niébé cru.

## CONCLUSION

Ce travail visait principalement la diversification des produits alimentaires à partir d'un mélange de farines de céréales locales, de légumineuses et de champignons comestibles pour la fabrication de farines fortifiées. Les farines obtenues ont reçu un traitement approprié ayant pour but de réduire au maximum les facteurs antinutritionnels qui y sont présents tels que les phytates et les facteurs inhibiteurs de la trypsine. Il est à remarquer que l'extrusion a très peu

modifié la composition en nutriments des produits finis. Toutefois, une meilleure caractérisation nutritionnel de ces derniers devrait être envisagée pour la promotion de tels produits qui sont d'une importance capitale dans la nutrition infantile.

## REMERCIEMENTS

Sincères remerciements à l'Université des Nations Unies (UNU/INRA) et le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) le Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS /ISRA), l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA), pour avoir financé et soutenu les activités qui ont conduit aux résultats présentés dans cet article.

## REFERENCES

- Abd El-Hady E.A., Habiba R.A. 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 36 : 285 - 293
- Alonso R., Aguirre A., Marzo F. 2000. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68 : 159 - 165
- AOAC . 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists International. Method 970.12. 16<sup>th</sup> Ed.
- AOAC. 2007. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists International. 18<sup>th</sup> Ed. Rev.
- Chang S.T. 1989. Des champignons non comestibles et leur culture. CRC Press, Boca Raton, pp 293 - 302 .
- Chang S.T., 1996. Application potentielle de polysaccharide *Ganoderma* dans la surveillance immunitaire et la chimio prévention du cancer. Actes du deuxième Congrès international sur le champignon Biologie et champignons produit, pp 23 - 26.
- Chang S.T., 1999. Global impact of edible and medicinal mushrooms on human welfare in the 21st century : Non- green revolution. *Int. J. Med. Mush.* 1 1 - 7.
- Cheftel J.C. 1986. Nutritional effect of extrusion-cooking. *Food chemistry* 20 : 263 - 283.



- Cheftel J.C. 1994. Destruction de microorganismes par cuisson- extrusion. *In* : La cuisson-extrusion (*Edited by Colonna and Della Valle*), Technique & Documentation Lavoisier, pp 230 - 250.
- Cheng Z.J., Hardy R.W. 2003. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 218 : 501 – 514
- De Kesel A., Codjia J.T.C., Yorou S.N. 2002. Guide des champignons comestibles du Bénin. Cotonou, République du Bénin, Jardin Botanique National de Belgique et Centre International Eco développement Intégré (CECODI. Impr. Coco- Multimedia, 275 p
- Hazell T., Johnson I.T. 1989. Influence of food processing on iron availability in vitro from extruded maize-base snack foods. *Journal of Science Food and Agriculture* 46 : 365 - 374
- Ljokjel K., Harstad O.M., Skrede A. 2000. Effect of heat treatment of soybean meal and fish meal on amino acid digestibility in mink and dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 84 : 83 - 95.
- Marsman G.J.P., Gruppen H., Van der Poel A.F.B., Resink J.W., Verstegen M.W.A., Voragen A.G.J. 1995. The effect of shear forces and addition of a mixture of a protease and a hemicellulase on chemical, physical and physiological parameters during extrusion of soybean meal. *Animal Feed Science Technology* 56 (1-2) : 21 - 35.
- Molinié A.P. Fohl-Leszkowicz A. 2003. Les mycotoxines dans les céréales: les points importants de contrôle de la production au stockage, le devenir dans les produits dérivés. Laboratoire de toxicologie et sécurité alimentaire-Auzeville-Tolosane. Note de l'ASEDIS-SO N° Spécial Mycotoxines (2003), 9p.
- Oei P. 1996. Mushroom cultivation with special emphasis on appropriate techniques for developing countries. Outil Publications CTA, Leiden, pp 3-5
- Onyango C., Noetzold H., Hofmann T., Bley T., Henle T. 2004. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded *uji* from maize–finger millet blend. *Lebensmittel Wissenschaftund Technologie* 37 : 827 – 832. 43
- Peterson R. 2008. Cordyceps: une médecine traditionnelle chinoise et l'autre thérapeutique fongique. *Biofabriquephytochimie* 69 : 1469 - 1495