

Intégration de la qualité hygiénique et nutritionnelle des aliments lors de la conception d'un équipement agroalimentaire

Ouézou Yaovi AZOUMA^{1,2}, Eyawèlong Piwèdéou AWESSO³,
Moctar Limam BAWA³

Résumé

La qualité hygiénique et/ou la valeur nutritionnelle des aliments ne sont pas souvent intégrées lors de la conception d'un équipement agroalimentaire. Toutefois, ces deux facteurs contribuent à la protection de la santé du consommateur des aliments provenant des machines. A titre d'exemple, nous avons réalisé le dosage des métaux, par colorimétrie et spectrophotométrie moléculaire dans la limaille de meules et dans la farine de maïs et aussi par spectrophotométrie d'absorption atomique dans la peinture grattée sur les parois du compartiment alimentaire d'un moulin à sauce. Les résultats montrent que par rapport au maïs sec brut, la farine provenant d'un moulin à meules en acier présente d'énormes pertes en oligo-éléments: Cu 43,5 %, Zn 33,6 % et Fe 69 %. En 6 passages dans le moulin, le taux de fer du maïs sec brut, 3,95 mg/100g passe à 7,9 mg/100g pour la farine, conséquence de l'usure par abrasion des meules. La peinture du compartiment alimentaire d'un moulin à sauce fabriqué localement pour écraser les épices, la tomate, l'oignon, le sésame et l'arachide, contient des métaux qui ne doivent pas être au contact des aliments et dont les taux maximum atteignent : 18 900 mg Pb kg⁻¹ et 2,6 mg Cd kg⁻¹. Ces résultats sont croisés avec une synthèse bibliographique, d'une part sur l'influence des procédés de transformation mécanisée des produits agricoles sur la valeur nutritionnelle des aliments et d'autre part, sur les prescriptions hygiéniques relatives à la conception d'un équipement agroalimentaire. Ainsi, des recommandations techniques à adopter par les concepteurs, les équipementiers et les réparateurs sont proposées.

Mots-clés : métaux lourds, conception, équipement agroalimentaire, qualité hygiénique, valeur nutritionnelle des aliments.

¹ Université de Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie / Département de Génie rural et Machinisme agricole BP 1515 Lomé, Togo ; Tél. : (228) 22 25 41 97 Fax : (228) 22 21 85 95 e-mail : azouma@yahoo.com

² Centre de Recherche sur la Mécanisation de l'Agriculture au Togo (CRMAT), BP 1515 ESA/UL, Lomé – Togo

³ Université de Lomé, Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires, BP 1515 Lomé, Togo ; Tél. : (228) 22 25 64 35 Fax : (228) 22 21 85 95

Abstract

Food hygienic and/or the food nutritional value are not often integrated when designing agrifood equipment. However, they contribute to the protection of the consumer's health when eating food processed by the machines. As an example, by colorimetry and molecular spectrophotometry, we assessed metals amount contained in the filings of steel millstones and in the corn flour. Besides, by atomic absorption spectrophotometry, we evaluated heavy metals contained in the painting scraped from the walls of the food compartment of a vegetable mill.

This study shows that compared to dry corn grain, the flour coming from a steel grind stone mill presents high element losses such as: Cu 43.5%, Zn 33.6% and Fe 69%.

After 6 times grinding in the mill, the iron rate of dry corn grain, 3.95 mg/100g raised to 7.9 mg/100g in the flour, consequence of a wear by abrasion of the steel millstones. The painting of the food compartment of a local manufactured mill to crush spices, tomato, onion, sesame and groundnut, contains metals which should not be in contact with the food and their maximum rate reaches: 18900 mg Pb kg⁻¹ and 2.6 mg Cd kg⁻¹. These results are combined with a literature review on the mechanized processing effects on agrifood value and on the hygienic quality regulations relating to the design of agrifood equipments. Finally, several technical recommendations to be adopted by the designers, the equipment manufacturers and the repairers are proposed.

Keywords: heavy metal, design, agrifood equipment, food hygienic, food nutritional value.

Introduction

En Afrique de l'Ouest et du Centre se développe une alimentation basée sur la transformation mécanisée à petite échelle de céréales : riz, maïs, sorgho, mil, fonio ; de légumineuses : niébé et voandzou ; de tubercules : manioc, igname, patate ; et de produits pour la sauce : épices, tomate, arachide et sésame. Les procédés de transformation de ces produits agricoles, les matériaux au contact des aliments et la géométrie des compartiments alimentaires des machines et des contenants doivent garantir la qualité hygiénique et la valeur nutritive des aliments (GORDON, 2006, SANTE CANADA, 2007 et AFNOR 1997). Toutefois, les concepteurs, les équipementiers et les réparateurs ne respectent pas toujours les prescriptions ou directives d'hygiène relatives à la conception d'un équipement agroalimentaire en Afrique (AZOUMA, 2008). A partir des constatations faites sur des mesures de métaux dans la farine de maïs produite dans des moulins à meules verticales et dans la peinture d'un moulin à sauce, puis d'autres exemples observés sur le terrain, cette étude présente les risques liés à ces pratiques et propose des solutions techniques permettant de prendre en compte la qualité hygiénique et la valeur nutritive des aliments lors de la conception d'un équipement agroalimentaire en vue de veiller à la santé des consommateurs.

Matériels et méthodes

Dosage des métaux dans la limaille de meules et dans la farine de maïs

Le matériel utilisé pour les différents dosages et analyses est présenté dans le tableau I.

Tableau I. Matériel utilisé au cours de la recherche

Désignation	Type	Fonction
Spectrophotomètre d'absorption moléculaire	Digitron elvi 675	Mesure des densités optiques des solutions
Spectrophotomètre d'absorption atomique	Perkin-elmer, model 2380, avec une flamme air/acétylène	
Spectrophotomètre d'absorption atomique	Thermo Electron Corporation avec une flamme air/acétylène	
Balance	Shimadzu BX3200D Kern 770	Pesée des réactifs et échantillons
pH-mètre	WTW pH 330i	Mesure de pH des solutions
Bain de sable	OBE 18-75	Chauffage des échantillons
Plaque chauffante	Gerprutte Sicherheit	
Four à moufle	Thermolyne, 1400 Furance	
Verrerie	Verrerie commune du laboratoire	Dosage, préparation, prélèvement des réactifs et échantillons
Etuve	Interlabs Instruments DP1-I	Séchage des échantillons

Analyse des limailles de meules

Des échantillons de limailles de meules sont prélevées dans 2 ateliers d'affûtage à Lomé, dans les quartiers Tokoin et Attiégo. Ils ont été analysés au laboratoire. Les échantillons de limaille sont solubilisés. Une quantité de limaille de meules, 0,2 g est mouillée avec quelques gouttes d'eau distillée dans un Bêcher de 50 ml. Ce mélange reçoit successivement 5 ml d'acide nitrique de concentration 0,2 mol/L et 45 ml d'acide chlorhydrique concentré à 37% puis est porté au bain de sable chaud, 150°C, jusqu'à sec. Ajouter 2,5 ml d'acide nitrique et 25 ml d'acide chlorhydrique, ramener au bain de sable jusqu'à sec ; refroidir puis ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique et 45 ml d'eau distillée. Porter de nouveau au bain de sable pendant 40 minutes et laisser refroidir. Filtrer sur un papier Whatman n° 2 et récupérer le filtrat dans une fiole de 100 ml puis compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée. La solution ainsi préparée constitue la solution d'analyse de l'échantillon de limaille de meules. Après la solubilisation, l'analyse du Cu, Cd, Zn, Pb, Co et Hg est effectuée par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (Digitron elvi 675) (CHARLOT, 1966 ; AFNOR, 1990 ; CHARLOT, 1974a). En effet, les dithizonates de ces métaux ont des couleurs plus ou moins spécifiques et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration du métal dans la phase organique.

Analyse de la farine de maïs

La détermination de la teneur en eau et de la matière sèche est réalisée selon la norme NF EN ISO-665 (AFNOR, 2000). Le séchage de la farine est réalisé à 105°C pendant 40 minutes.

La teneur en eau et matières volatiles a été calculée selon l'équation (1) :

$$W = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} 100 \quad (1)$$

m_0 : masse en gramme du vase vide

m_1 : masse en gramme du vase avec la prise d'essai avant la dessiccation

m_2 : masse en gramme du vase avec la prise d'essai après dessiccation

La matière sèche (Ms) est déterminée à partir de la formule (2) :

$$Ms = 100\% - W \quad (2)$$

La détermination de la matière minérale totale s'est faite selon la norme NF EN ISO-749 (AFNOR, 1977). La teneur en matière minérale totale d'un aliment est le résidu d'un échantillon de l'aliment obtenu après incinération à 550°C ± 10°C pendant 6 heures.

La teneur en matière minérale totale ou cendre totale (Ct) est déterminée par la formule (3) :

$$Ct = \frac{m_2 - m_1}{m_0} 100 \quad (3)$$

m_0 : masse de la prise

m_1 : masse du creuset à vide préalablement chauffé à 105°C pendant 2 heures et refroidi

m_2 : masse du creuset + cendre

Des échantillons de farine de maïs humidifié, ayant subi 1 à 6 passages à la mouture, ont été analysés.

Les échantillons de cendre refroidie sont minéralisés. Le procédé est le suivant : les cendres sont humectées avec quelques gouttes d'eau, ajouter 10 ml d'acide chlorhydrique concentré et 2 ml d'acide nitrique, laisser 10 minutes et chauffer sur bain de sable pendant 5 minutes. Ajouter 2 ml de HNO_3 , 15 ml d'eau distillée et continuer le chauffage pendant 30 minutes. Filtrer sur un papier Whatman n° 41 en récupérant le filtrat dans une fiole jaugée de 50 ml et compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée. La solution d'analyse de l'échantillon de farine de maïs est ainsi obtenue.

Après la minéralisation (CIRAD, 2004), le dosage Pb, Cd, Zn et Cu est réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (Perkin-Elmer, model 2380) (SAA, 1982). Le dosage du fer est réalisé par spectrophotométrie d'absorption moléculaire selon la méthode à l'orthophénanthroline de la norme NF T90-017 (AFNOR, 1982).

Dosage des métaux dans la peinture d'un moulin à sauce

Le moulin à sauce (figure 1) est un équipement agroalimentaire « bon marché » fabriqué localement et exploité au coin des rues ou dans les marchés en Afrique de l'Ouest. Son compartiment alimentaire en acier ordinaire est attaqué par les épices humides et surtout par la tomate qui est acide. Pour éviter la corrosion, les équipementiers utilisent de la peinture à huile quelconque.

Des échantillons de la peinture grattée sur les parois du compartiment alimentaire d'un moulin à sauce fabriqué localement sont analysés. Les résultats obtenus sont comparés à ceux de la peinture d'une pièce témoin, une grille support d'aliments d'un réfrigérateur de marque « SIERA, 3 étoiles ». En effet, à défaut de disposer de la composition d'une peinture recommandée pour le contact avec les aliments, le dosage des métaux dans la peinture de la grille a été réalisé pour servir de comparaison. Après la minéralisation des échantillons des peintures à l'acide nitrique concentré, le dosage du Pb, Cd, Cu, Ag et Ni est effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique de type Thermo Orion Solaar S₂ (SAA, 2003). N'ayant pas eu de réponse avec l'essence de térébenthine et différents acides concentrés HCl, H_2SO_4 et HNO_3 , les échantillons de peinture de la grille du compartiment alimentaire du réfrigérateur ont été incinérés à $550^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$. Les cendres refroidies sont minéralisées. A 0,1 g de cendre, on ajoute 5 ml de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) 9 % et on laisse pendant 24 h. On met 5 ml d'acide nitrique concentré à 65 %, chauffé au bain de sable à 150°C pendant 2 heures. Le filtrat des échantillons est analysé par le spectrophotomètre d'absorption atomique de type Thermo Orion Solaar S₂ (SAA, 2003) pour doser des métaux lourds.

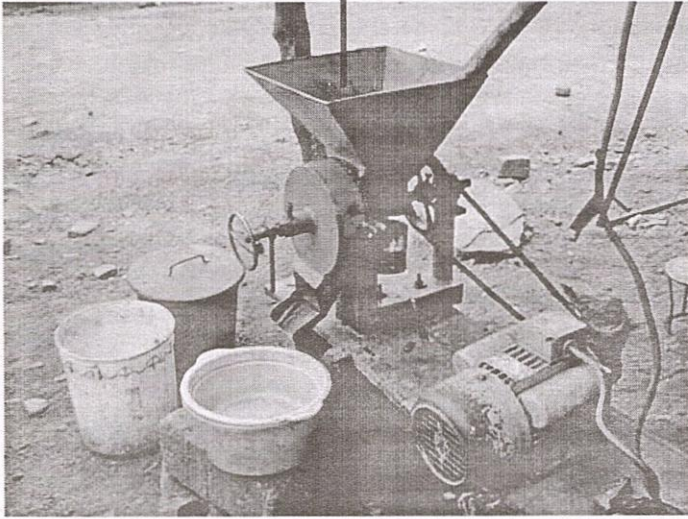


Figure 1. Moulin à sauce.

Résultats et discussions

Synthèse bibliographique sur les risques pour la santé du consommateur des aliments produits dans un équipement agroalimentaire

L'objectif de cette section est de montrer les risques pour la santé inhérents aux matériaux au contact des aliments et de mettre en évidence l'influence des procédés de transformation des produits agricoles tropicaux dans les machines sur la valeur nutritionnelle des aliments.

L'intégration dès la conception de la qualité hygiénique et de la valeur nutritionnelle des aliments tropicaux permet de prendre en compte les risques pour la santé du consommateur (tableau II).

La quantité de fer recommandée journalièrement dans une alimentation où la part des produits d'origine végétale est importante sera plus élevée que celle recommandée dans une alimentation riche en produits animaux (N'DIAYE et DIEYE, 1984). La présence du cadmium dans l'organisme humain peut provenir de sa solubilisation par les acides des substances alimentaires à partir des poteries vernissées, des boîtes de conserves, des ustensiles de cuisine galvanisés. Sa toxicité est relativement élevée avec effet cumulatif dans le foie et les reins. L'intoxication du cadmium peut entraîner des troubles rénaux, les altérations osseuses et l'hypertension artérielle. En 1972, un comité mixte d'experts FAO/OMS a établi que l'exposition de l'homme au cadmium à partir de la nourriture, de l'eau et de l'air ne doit pas dépasser 400 à 500 mg par semaine (CHARLOT, 1974b).

Tableau II. Risques sanitaires des matériaux au contact des aliments.

Matériaux	Quantité absorbée sans danger	Risques pour la santé	Références bibliographiques
Aluminium	Adulte: 50 mg / jour	Maladie d'Alzheimer ?	GORDON, 2006 SANTE CANADA, 2007
Cuivre	Adulte: 1 à 3 mg / jour	Toxique à fortes doses syndrome digestif et hémolytique	ALAIS <i>et al.</i> , 2003 GORDON, 2006 SANTE CANADA, 2007
Fer	Homme adulte : 0,9 mg / jour	Toxique à fortes doses Hémosidérose et hémochromatose	N'DIAYE et DIEYE, 1984 GORDON, 2006 SANTE CANADA, 2007
	Femme enceinte : 3 mg / jour		
Nickel	150 à 250 mg / jour	Réaction allergique	SANTE CANADA, 2007
Chrome	50 à 200 mg / jour	Nocif à fortes doses Réactions inflammatoires de la peau et des muqueuses	GORDON, 2006
Plomb	0,005 mg.kg ⁻¹ du poids corporel	Substances très toxiques Saturnisme, affections du syst. nerveux, reins, sang Troubles rénaux, altérations osseuses, hypertensions art.	CHARLOT, 1974b RODIER, 1996 ALAIS <i>et al.</i> , 2003 GORDON, 2006 SANTE CANADA, 2007 N'DIAYE et DIEYE, 1984
Cadmium	400 à 500 mg / semaine		
Bois	-	Rétention de bactéries et microorganismes Migration de molécules nocives	NATURE et PROGRES, 2005

Le plomb classé par l'OMS, troisième métal toxique après le mercure et le cadmium est à l'origine du saturnisme, manifestations toxiques. Les coliques du plomb ont des effets sur le système nerveux, les reins et le sang (ALAIS *et al.*, 2003). Le danger lié à l'absorption d'une dose toxique de plomb est aggravé par l'effet de l'accumulation de doses non toxiques. Le plomb diminue la durée de vie des globules rouges par altération de leur membrane. Les femmes enceintes, les fœtus, les nouveau-nés et les enfants sont les groupes les plus vulnérables à l'action toxique du plomb.

Les aciers inoxydables destinés à entrer au contact des denrées alimentaires doivent titrer au moins 13% de chrome, (KOZLOWSKI, 2006a).

Les procédés de transformation influent sur la valeur nutritive des aliments. Au Cameroun, FAVIER (1977) a montré que le broyage au moulin à moteur provoque, par échauffement, la perte de 40 % de la thiamine initialement présente dans le sorgho décortiqué. En effet, la thiamine, l'aneurine ou la vitamine B1 favorise la transformation des glucides en énergie et est nécessaire au bon fonctionnement du système nerveux et musculaire. Un déficit en vitamine B1 dans l'alimentation humaine provoque le bérubéri. La perte de protéine et de thiamine est une des raisons pour laquelle la vitesse de mouture ne doit pas échauffer les grains de céréale au-delà de 40°C (NATURE et PROGRES, 2005). Différentes méthodes de mouture ou les solutions techniques de transformation influent sur la teneur en certains oligo-éléments dans les fractions de mouture de maïs (tableau III) (MBOFUNG *et al.*, 1989).

Tableau III. Teneur nutritive de différentes fractions de mouture du maïs selon la méthode de transformation (MBOFUNG *et al.*, 1989).

Méthode de transformation	Fraction de mouture	Zn (mg/100g)	Fe (mg/100g)	Mg (mg/100g)	Ca (mg/100g)	P (%)
Mécanique	Grain brut	1.56	2.1	81	49	126
Mécanique	Farine	1.47	2.0	86	40	130
Traditionnelle	Farine	0.88	1.5	44	30	64
	Cosse	2.00	4.2	135	39	140
Semi Traditionnelle	Farine	0.81	1.7	27	37	56
	Cosse	2.40	2.8	141	38	148
Industrielle	Farine	0.68	1.2	40	29	136
	semoule	0.49	1.1	44	21	83
	Germe	2.50	2.8	70	65	210
	Cosse	1.70	2.4	101	20	190

Le tableau III montre globalement que les solutions techniques de transformation utilisées conduisent à une réduction plus ou moins importante de la teneur en zinc, fer et magnésium.

La force et la durée de pressage de la pâte fermentée de manioc à l'aide d'une presse à vis sans fin influencent les qualités physico-chimiques et organoleptiques de l'attieke (semoule à base de manioc cuit à la vapeur) : teneur en eau, en amidon, texture, sucre totaux et acide cyanhydrique (AKELY *et al.*, 2008). Le procédé de blutage au pilon et au mortier laisse à la farine des céréales : riz, sorgho et maïs, plus de nutriments nobles (protéines, minéraux et vitamines) et une proportion de fibres plus raisonnable que ne le font les techniques mécanisées (FAVIER, 1989). Le broyage de la chair de mangue contenant des caroténoïdes et le séchage de la purée obtenue pour produire de la pâte de mangue est une voie prometteuse pour utiliser des fruits réguliers trop mûrs ou petits, ou des fruits de calibre irrégulier en tant que matières premières peu coûteuses. L'étude montre que le blanchiment affecte la teneur en β -carotène et les meilleures conditions de séchage, de couleur et de conservation de β -carotène se situent à 80°C (GUARTE *et al.*, 2005). Si le séchage de la spiruline à 60°C entraîne une perte de 30% des protéines contre 20% à 40°C (DESMORIEUX et HERNANDEZ, 2004), ce phénomène doit être pris en compte lors de la conception d'un équipement de séchage.

Cette brève synthèse bibliographique permet d'appréhender les risques potentiels pour la santé inhérents à la conception d'un équipement agroalimentaire.

Métaux dans la limaille des meules

La composition en métaux de la limaille est présentée dans le tableau IV. La teneur en fer constitue environ 99 % de la limaille. Tous les autres métaux dosés ont une faible teneur inférieure à 1 mg par kg de limaille.

Tableau IV. Teneur moyenne en métaux dans la limaille de meule.

Métaux	Teneur de métaux dans la limaille (mg.kg ⁻¹)	
	Echantillon A	Echantillon T
Pb	0,249 ± 0,003*	0,213 ± 0,020*
Cd	0,040 ± 0,012	0,100 ± 0,012
Hg	< au s.d.	< au s.d.
Co	0,120 ± 0,006	0,153 ± 0,009
Zn	0,013 ± 0,002	0,021 ± 0,003
Cu	0,167 ± 0,005	0,037 ± 0,001
Fe	996441,3 ± 121,43	984578,9 ± 17,34

< au s.d : Inférieur au seuil de détection de la méthode de mesure

A : Atelier d'Attiegou ; T : Atelier de Tokoin

*Valeurs moyennes suivies de leurs écart-types

Taux d'humidité et teneur de métaux dans la farine

A partir du taux de matière sèche obtenu, qui est de l'ordre de 90 % pour le maïs sec et 61 % pour le maïs humidifié, on en déduit la teneur en eau ou taux d'humidité respectivement de 10% et 39 %. Le taux d'humidité du maïs sec est conforme aux normes du Codex alimentaire, Codex Stan 152-1985 de FAO/OMS (1987) qui recommande une teneur en eau des farines de maïs (farine de conservation) qui ne doit pas dépasser 15,5 %. Le taux d'humidité du maïs humidifié est inférieur à celui recherché dans la mouture industrielle, soit 45 %.

Le taux de cendre total du maïs sec et celui du maïs humidifié sont respectivement de 1,56 % et 0,76 %. Ces taux sont conformes car inférieurs à la norme qui est de 3,9 % (FAO/OMS, 1987). Le tableau V montre qu'avant et après la mouture du maïs dans le moulin, il n'y a pas de plomb ni de cadmium dans les produits au seuil de la détection de la méthode d'étude utilisée. Les teneurs en Zn (3,32 mg/100 g) et Fe (3,16 mg/100 g) dans le grain humidifié sont légèrement inférieurs à ceux du grain sec, Zn (3,99 mg/100 g) et Fe (3,95 mg/100 g). On remarque que la teneur du Cu dans le grain sec (4,25 mg/100g) est quasiment le double de celle mesurée dans le grain humidifié (2,27 mg/100 g). Cette différence est probablement due à une perte par lessivage ou un drainage par diffusion de ces éléments hors des grains au cours de leur trempage qui dure jusqu'à 48 heures et de leur lavage comme l'a constaté FAVIER (1977).

Tableau V. Teneur moyenne en métaux dans la farine en fonction du nombre de passage dans le moulin.

Mouture	Nbre de passage	Métaux (mg / 100 g)				
		Pb	Cd	Cu	Zn	Fe
Voie sèche	0	< au s.d.	< au s.d.	4,25 ±0,02*	3,99 ±0,14*	3,95 ±0,02*
	4	< au s.d.	< au s.d.	2,40 ±0,05	2,66 ±0,07	1,22 ±0,03
	6	-	-	-	-	7,90 ±0,35
Voie humide	0	< au s.d.	< au s.d.	2,27 ±0,01	3,32 ±0,01	3,16 ±0
	1	< au s.d.	< au s.d.	1,94 ±0,02	2,61 ±0,03	1,47 ±0,05

* Valeurs moyennes suivies de leurs écart-types

Le tableau VI présente le taux de perte en Cu, Zn et Fe dans la farine sèche et humide par rapport à la quantité de ces métaux dans le maïs brut. Les teneurs en Cu, Zn et Fe après mouture par rapport à ceux du maïs brut présentent d'énormes pertes (tableau VI). Ce phénomène a été également relevé au Cameroun par MBOFUNG *et al.* (1989). La mouture du maïs sec provoque plus de perte que celle du maïs humidifié. Les particules fines de la farine sont perdues sous forme de poussière alors que la farine pâteuse ne connaît pas ce phénomène. Les mesures effectuées au Cameroun par FAVIER (1977) ont montré que le broyage au moulin à moteur provoque par échauffement la perte de 40% de la thiamine initialement présente dans le sorgho décortiqué soumis au broyage. Les procédés de mouture étudiés surtout par voie sèche engendrent d'importantes pertes en oligo-éléments et de ce fait peuvent créer de graves problèmes nutritionnels et métaboliques chez les consommateurs qui ont un régime riche en farine de maïs particulièrement chez les sujets vulnérables tels que les malades et les enfants qui risquent les problèmes de « la faim invisible » (MADABOMBE, 2007). La teneur en fer atteint 7,90 mg / 100g dans la farine après 6 passages de mouture. Ce phénomène est dû à l'usure par abrasion des meules en acier contenant environ 99 % de fer.

Tableau VI. Taux de perte de métaux dans les farines sèche et humide.

Métaux (%)	Cu	Zn	Fe
Perte par voie sèche	43,53	33,60	69,11
Perte par voie humide	14,54	21,38	69,11

*Cd et Pb ne sont pas présents dans le produit au seuil de détection de la méthode de mesure

Métaux dans la peinture du compartiment alimentaire du moulin à sauce

Le tableau VII indique les teneurs en métaux mesurées dans de la peinture grattée sur trois parois de la trémie, compartiment alimentaire du moulin à sauce. Les résultats de l'analyse de la peinture du moulin à sauce (tableau VII) présentent un fort taux de plomb variant de 5252 à 18 900 mg.kg⁻¹ et une teneur de Cd de l'ordre de 2,6 mg.kg⁻¹. Elle contient également du Cu et du Ni de teneurs maximales respectives de 873 mg.kg⁻¹ et 414 mg.kg⁻¹. Le plomb et le cadmium génèrent des substances très toxiques et de ce fait ne doivent pas être en contact avec les aliments. La peinture du compartiment alimentaire du réfrigérateur ne contient pas de Pb ni de Cd au seuil de détection de l'appareil de mesure utilisé mais elle contient 264 mg/kg d'arsenic et 2 fois plus de Ni que la peinture du moulin à sauce dépourvue de As. Les grilles dans le réfrigérateur sont conçues pour supporter des produits conditionnés ou dans des contenants ; et de ce fait, sans contact direct avec les aliments, il n'y a pas de risque. La composition des peintures utilisée dans le compartiment alimentaire du moulin à sauce ne respecte pas une disposition des prescriptions hygiéniques de AFNOR (1997) qui précise que « les peintures et vernis utilisés ne doivent pas contenir le plomb, des solvants et autres substances prohibés ».

Tableau VII. Teneur de quelques métaux dans la peinture du moulin à sauce.

Echantillon de peinture	Dosage des métaux (mg / kg)				
	Pb	Cd	Cu	As	Ni
E1	5252, 6*	2,6*	533, 5*	< au s.d.	< au s.d.
E2	10700*	1	873,6	< au s.d.	84*
E3	18900*	< au s.d.	634,4	< au s.d.	414
E _{témoin}	< au s.d.	< au s.d.	589,8	263,5	895

E1, E2 et E3 : peinture grattée sur trois différentes parois ; Etémoin : peinture de la grille de réfrigérateur ;

*Teneur en métaux dans un échantillon de peinture d'une paroi de la trémie du moulin à sauce.

Outre, le respect des prescriptions hygiéniques dans le choix des matériaux au contact des aliments, la mise en œuvre de la solution technique ne doit permettre la contamination de l'aliment. L'exemple de l'assemblage des planches d'une mangeoire de bergerie livrée par un menuisier présente une défaillance d'étanchéité qui illustre ce phénomène (figure 2). Si nous admettons que le type de bois utilisé ne présente aucun risque sanitaire, la possibilité d'intrusion des aliments entre les parois de deux planches assemblées de la mangeoire empêche un nettoyage efficace et par conséquent permettra la pourriture d'aliments qui contamineront les nouvelles rations servies.

Défauts d'étanchéité

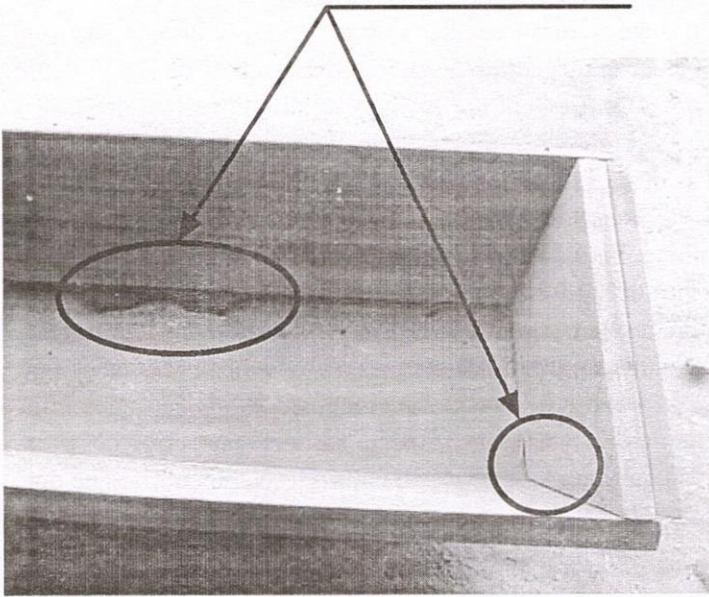


Figure 2. Défauts d'étanchéité d'une mangeoire neuve pour une bergerie.

A défaut d'une réglementation relative aux denrées alimentaires produites dans les équipements fabriqués en Afrique, les équipes de conception peuvent s'appuyer sur les lois européennes. A cet effet, en France par exemple, le décret N°92-631 du 8 juillet 1992, transpose en droit national la directive cadre 89/109/CEE relative aux matériaux et objets destinés à être mis au contact des denrées alimentaires : « Les matériaux et objets doivent être inertes à l'égard des denrées alimentaires. En particulier, ils ne doivent pas céder à ces denrées, dans des conditions normales ou prévisibles de leur emploi, des constituants dans une quantité susceptible :

- de présenter un danger pour la santé humaine ou animale ;
- d'entraîner une modification inacceptable de la composition des denrées alimentaires ou une altération de leurs caractères organoleptiques » (KOZLOWSKI, 2006b).

Conclusion

Cette étude démontre que le non respect de la qualité hygiénique et de la conservation de la valeur nutritionnelle des aliments dès la conception d'un équipement agroalimentaire est préjudiciable à la santé du consommateur. Les dangers concernent les propriétés physico-chimiques et toxicologiques puis la baisse de la qualité nutritionnelle des aliments. Pour résoudre ces problèmes plusieurs recommandations sont à envisager :

- l'équipe de conception et les réparateurs des équipements agroalimentaires doivent disposer des connaissances sur les matériaux au contact des aliments tropicaux ;
- le choix des matériaux de fabrication ou de réparation et le choix des solutions techniques doivent être conformes aux normes disponibles (par exemple les joints fixes ou démontables sans retraits, trous, anfractuosités, rebords saillants, espaces morts) et conserver la valeur nutritionnelle de la denrée alimentaire produite ;

– la réglementation des procédés de transformation des produits tropicaux et la sensibilisation des acteurs : concepteurs, équipementiers, utilisateurs et réparateurs sur le respect des normes s'avère indispensable.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les Laboratoires de l'Université de Lomé et le Laboratoire de Chimie et Contrôle Qualité de la Direction Générale des Mines et de Géologie du Togo pour l'appui matériel dans la réalisation de cette étude. Nous exprimons notre gratitude aux Professeurs D. Riopel de l'École Polytechnique de Montréal et E. Foltête de l'Université de Franche-Comté pour le soutien en documentation spécialisée.

Références bibliographiques

- AFNOR, 1977.** Analyse chimique, cendre, dosage, graine oléagineuse – Méthode par incinération, tourteau. NF EN ISO-749.
- AFNOR, 1982.** Dosage du fer. Méthode spectrophotométrique à la phénanthroline 1,10. NF T90-017, Paris.
- AFNOR, 1988.** Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés. 4^e éd., 529p.
- AFNOR, 1990.** Recueil de normes françaises. Eaux : méthodes d'essai. 4^e éd., 732p.
- AFNOR, 1997.** Machines pour les produits alimentaires : prescriptions relatives à l'hygiène. NF EN 1672-2, Paris.
- AFNOR, 2000.** Oilseeds – Determination of moisture and volatile matter content. NF EN ISO-665.
- AKELY P. M. T., AMANI N. G., AZOUMA O. et NINDJIN N., 2008.** Influence of pressing force on physicochemical and sensory qualities of fermented cassava mash and attiéke semolina. Food 2(1), 48-51 Global Science Books.
- ALAIS C., LINDEN G. et MICLO L., 2003.** Biochimie alimentaire. Dunod, 5^e éd., Paris, 244p.
- AZOUMA Y. O., 2008.** Intégration de la qualité hygiénique dans la conception locale des équipements agroalimentaires. Journal des Sciences Pour l'Ingénieur, N°10/2008, 57-62.
- CHARLOT G., 1966.** Les méthodes de la chimie analytique : analyse quantitative minérale. Tome I. Masson et Cie, Paris, p80-82.
- CHARLOT G., 1974a.** Méthodes sélectionnées d'analyse chimique des éléments. In : « Chimie analytique quantitative ». Tome II. Masson et Cie, Paris, p404-568.
- CHARLOT G., 1974b.** Méthodes chimiques et physicochimiques. In : « Chimie analytique quantitative ». Tome I. Masson et Cie, 6^e éd., Paris, p75-79.
- CIRAD, 2004.** Catalogue des analyses courantes: 303 Code Interne : procédure N°PP0903. Copyright, Cirad 2004, p22-28
- DESMORIEUX H. et HERNANDEZ F., 2004.** Biochemical and physical criteria of spirulina after different drying processes. CD-ROM Proceedings, 14th International Drying Symposium IDS, Sao Paulo, Brazil.
- FAO/OMS, 1987.** Normes codex pour les céréales, légumes secs, légumineuses et produits dérivés. Codex alimentarius, vol XVIII. 1^{ère} éd., Rome.
- FAVIER J.C., 1977.** Valeur alimentaire de deux aliments de base africains : le manioc et le sorgho. Trav et Doc ORSTOM, Paris.
- FAVIER J.C., 1989.** Céréales en régions chaudes : Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. Eds John Libbey Eutext, Paris, p285-297

- GORDON L. R., 2006.** Food Packaging: Principles and Practice. Second Edition. Edition: CRC-Taylor and Francis, 2006.
- GUARTE R.C., POTT I. et MUHLBAUER W., 2005.** Influence of drying parameters on β -carotene retention in mango leather. *Fruits*, vol. 60 (4) 255-256.
- KOZŁOWSKI A., 2006a.** Matériaux au contact des aliments – Choix. *Techniques de l'Ingénieur*, N 650.
- KOZŁOWSKI A., 2006b.** Matériaux au contact des aliments – Législation et réglementation. *Techniques de l'Ingénieur*, N 651.
- MADABOMBE I., 2007.** Afrique Renouveau : Département de l'information des Nations Unies Vol.20 N°4 janvier 2007 : Diamant du sang ou outil de paix ? «Lutte contre la faim invisible»
- MBOFUNG C., NDJOUENKEU R., ETOA F., 1989.** Influence des méthodes de mouture sur les rapports molaires phytates/zinc, (calcium x phytate)/zinc. Eds John Libbey Eutext, Paris, p2003-2011
- N'DIAYE A. M. et DIEYE A., 1984.** L'anémie par carence martiale : aspects physiologiques et causes des carences. In : « Organisation de Coopération et de Coordination pour la lutte contre les Grandes Endémies (O.C.C.G.E.) », inf. n°94, 15-24.
- NATURE ET PROGRES, 2005.** Cahier des charges «Transformation des produits alimentaires et restauration».
- RODIER J., 1996.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles résiduaires eau de mer. 8è éd. DUNOD, Paris, 1365p.
- SAA, 1982.** Analytical methods for atomic absorption spectrophotometer, Perkin-Elmer model 2380 – Standard conditions for atomic absorption, USA, 430 p.
- SAA, 2003.** Spectrophotométrie d'absorption atomique de type thermo Orion Solaar S2 - Manuel d'opération. Cambridge, United Kingdom.
- SANTE CANADA, 2007.** Batteries de cuisine à utiliser sans risque. Disponible sur: http://www.hc-sc.gc.ca/iyh-vsv/prod/cook-cuisinier_f.html. Consulté, le 25 mai 2007.