



Point 9(a) de l'ordre du jour

CX/CF 11/5/9
Janvier 2011

**PROGRAMME MIXTE FAO/OMS SUR LES NORMES ALIMENTAIRES
COMITÉ DU CODEX SUR LES CONTAMINANTS DANS LES ALIMENTS**

5^{ème} session

La Haye, Pays-Bas, 21 – 25 mars 2011

DOCUMENT DE TRAVAIL SUR LES MYCOTOXINES DANS LE SORGHO

**Préparé par le Soudan avec la collaboration de la Belgique, du Brésil, du Japon et des Etats-Unis
d'Amérique**

GÉNÉRALITÉS

1. À sa 36^{ème} session, en 2005, le Comité du Codex sur les additifs alimentaires et les contaminants (CCFAC) est convenu de demander des informations sur les mycotoxines dans le sorgho, à savoir, les mycotoxines concernées, les méthodes d'analyse et les procédures d'échantillonnage, la protection des consommateurs et les problèmes potentiels pour le commerce international. À sa 37^{ème} session, le Comité a noté que seul le Japon avait soumis des informations en réponse à la demande et est convenu d'interrompre les travaux.
2. À la 2^{ème} session du Comité du Codex sur les contaminants dans les aliments (CCCCF), la délégation soudanaise a indiqué que le sorgho est une culture importante dans les pays africains et a demandé d'examiner la question des mycotoxines dans le sorgho en session plénière. Le Comité est convenu d'établir un groupe de travail électronique dirigé par la Tunisie chargé de préparer un document de travail faisant la synthèse des données disponibles sur les mycotoxines dans le sorgho en vue d'une évaluation possible par le JECFA.
3. Le document de travail présenté à la 3^{ème} session du CCCCf contenait des informations sur la production mondiale de sorgho, l'utilisation du sorgho en tant qu'aliments de consommation humaine et animale dans le monde, et la conservation du sorgho en vue d'éviter sa détérioration. Les données sur la contamination ont été présentées sous la forme de trois études de cas distinctes, par la Tunisie, le Soudan et le Brésil (da Silva *et al.*, 2004). Le secrétariat du JECFA a exprimé l'avis que le groupe de travail sur les priorités devrait, outre son examen des fumonisines dans le contexte du maïs, examiner aussi le sorgho.
4. Le Comité a examiné s'il est nécessaire de préparer une annexe spécifique sur la prévention et la réduction de la contamination du sorgho par les aflatoxines dans le *Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination par les mycotoxines dans les céréales*, et a conclu que la délégation tunisienne continuerait de recueillir toutes les données disponibles et fournir un tableau plus complet pour examen à la prochaine session.
5. Le document de travail n'était pas disponible pour examen à la 4^{ème} session du CCCCf, et la délégation soudanaise, avec le soutien d'un certain nombre d'autres délégations, a proposé de maintenir ce point de l'ordre du jour et s'est portée volontaire pour diriger la collecte de toutes les données disponibles et préparer un document de synthèse pour examen par le Comité à la prochaine session.
6. Le Comité est convenu que le nouveau document de travail devrait se concentrer sur deux domaines principaux: les champignons producteurs de mycotoxines dont la présence a été signalée dans le sorgho et le type de mycotoxines et leur niveau contenu dans cette céréale.

7. Le présent document de travail a été préparé par le Soudan avec la collaboration de la Belgique, du Brésil, du Japon et des Etats-Unis et s'appuie sur les publications citées dans la bibliographie de ce même document.

INTRODUCTION

8. Toute plante parmi les nombreuses plantes du genre sorgho de la famille des Poaceae, de la sous-famille des Panicoideae est généralement appelée sorgho. Le *Sorghum bicolor* (L.) Moench est l'espèce cultivée comme céréale pour la consommation humaine et animale. Le sorgho est la cinquième plus importante culture céréalière dans le monde, après le riz, le blé, le maïs et l'orge. Il constitue le principal aliment céréalier pour plus de 750 millions de personnes qui vivent dans les régions tropicales semi-arides d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine.

9. D'une façon générale, le sorgho est une culture annuelle, mais certaines variétés sont vivaces. Le sorgho est produit entre 45° de latitude nord et 45° de latitude sud, dans les régions qui sont trop chaudes ou trop sèches pour le maïs. Une température moyenne minimum de 25°C est nécessaire pour assurer une production céréalière maximum.

10. L'humidité est le facteur agro-climatique qui limite la production du sorgho dans la majorité des régions. Les caractéristiques morphologiques de la culture en font une des cultures céréalières actuellement cultivées qui présente la meilleure tolérance à la sécheresse. Elle enregistre un rapport élevé entre les racines et la surface foliaire et pendant la sécheresse, elle roule ses feuilles pour réduire les pertes d'eau liées à la transpiration. Si la sécheresse se poursuit, elle entre en dormance au lieu de mourir. Les feuilles sont protégées par une cuticule cireuse pour réduire l'évapotranspiration.

11. L'institut international de gestion des ressources en eau (IWMI) signale que d'ici à 2025, 25 pour cent de la population mondiale sera affectée par une grave pénurie d'eau. La productivité de l'eau à la fois dans les zones irriguées et dans les zones pluviales peut être augmentée par l'utilisation de cultures à meilleur rendement hydraulique, comme le sorgho.

12. Les États-Unis sont les plus grands producteurs de sorgho au monde, suivis du Nigéria et de l'Inde (tableau 1). En 2008, l'Argentine a eu la meilleure productivité, suivie de la Chine et des États-Unis. Au niveau régional, l'Afrique subsaharienne est la plus grande productrice avec jusqu'à plus de 26 million de tonnes produites chaque année, et elle est aussi la plus grande consommatrice (tableau 2)

13. Le plus grand groupe de producteurs en Afrique se compose d'agriculteurs qui pratiquent une agriculture de subsistance à petite échelle et qui ont un accès minimal aux intrants de production comme les engrais et les pesticides, les semences améliorées (hybrides ou variétés), des sols fertiles, des ressources en eau et des facilités de crédit améliorées outre les nombreux obstacles socio-économiques. Compte tenu des systèmes d'intrants insuffisants, les niveaux de productivité sont très bas dans l'ensemble des pays d'Afrique et en Inde, allant de 1,5 à moins de 0,6 tonnes par hectare en Ethiopie et au Soudan respectivement (tableau 1). D'une façon générale, le changement le plus significatif dans la productivité du sorgho a été le développement du sorgho hybride. Le rendement des systèmes, en moyenne, 3 à 5 tonnes par hectare, repose sur les semences hybrides.

Tableau 1: Principaux pays producteurs de sorgho dans le monde - 2008*

Pays	Production (million tonnes)	Surface (ha)	% production mondiale	Productivité (tonnes/ha)
États-Unis	11,997	2942170	17,51	4,077
Nigéria	9,318	7617000	13,60	1,223
Inde	7,926	7764000	11,57	1,021
Mexique	6,641	1833130	9,69	3,622
Soudan	3,869	6619330	5,64	0,584
Australie	3,072	845000	4,48	3,635

Argentine	2,936	618625	4,24	4,746
Chine	2,502	580649	3,65	4,303
Éthiopie	2,316	1533537	3,38	1,510
Brésil	1,965	811662	2,86	2,421
Burkina Faso	1,875	1901776	2,74	0,986
Autres	14,073	12465013	20,54	1,129

*Source: Division des statistiques -21 juin 2010.

Tableau 2: Production, consommation et importation régionales de sorgho (million de tonnes) 2008/2009*

Région	Production	Consommation intérieure	Importations
Afrique subsaharienne	26497	26885	597
Amérique du Nord	19066	16919	2499
Asie du Sud	7455	7349	14
Amérique latine	4625	4491	665
Océanie	2690	1805	0
Asie de l'Est	1857	3699	1719
Afrique du Nord	915	965	45
Moyen-Orient	612	724	81
Union européenne	516	905	66
Amérique centrale	298	316	-
Caraïbes	128	128	0
Asie du Sud-Est	60	68	-
Total mondial	64718		

Source*: Département américain de l'agriculture – Service des affaires agricoles à l'étranger Marché et commerce mondiaux des céréales (12/8/2010)

14. La production mondiale totale de sorgho en 2008/2009 a été de plus de 64 millions de tonnes. La production de sorgho qui entre sur le marché mondial a été d'environ 9,4 pour cent de la production mondiale totale. Les Etats-Unis représentaient environ 59 pour cent des exportations mondiales, suivis de l'Australie (22%) et de l'Argentine (15%). Le Mexique et le Japon représentaient environ 41 pour cent et 27 pour cent, respectivement, des importations mondiales totales.

15. Les critères régissant l'exportation et le contrôle de la qualité du sorgho ont été établis par le Codex Alimentarius (norme Codex 172-1989). La norme appliquée au sorgho de consommation humaine directe indique que la céréale ne devra avoir aucune odeur ni goût anormaux; qu'elle doit être saine, propre et exempte d'insectes vivants; qu'elle doit être blanche, rose, rouge, brune, orange, jaune ou un mélange. La teneur en

humidité ne dépassera pas 14,5 pour cent, pour les cendres, elle ne dépassera pas 1,5 pour cent, et pour les protéines, elle ne dépassera pas 7 pour cent sur la base de la matière sèche. Le produit devra être conforme au code d'usages international recommandé – Principes généraux en matière d'hygiène alimentaire CAC/RCP1-1969.

16. Le sorgho a le potentiel d'améliorer la nutrition, d'augmenter la sécurité alimentaire, de favoriser le développement rural et d'assurer la protection des terres. Sa teneur protéique est généralement de l'ordre de 9 pour cent, permettant aux populations humaines de subsister en périodes de famine. Certaines variétés de sorgho sont riches en antioxydants, et toutes les variétés de sorgho sont sans gluten, option intéressante pour les personnes allergiques au blé ou atteints de la maladie cœliaque.

MYCOTOXINES SIGNALÉES DANS LE SORGHO

17. À l'échelle mondiale, l'occurrence des mycotoxines dans le sorgho a été signalée dans douze pays. Ils sont: l'Australie, le Brésil, la Colombie, l'Éthiopie, l'Inde, le Japon, le Nigéria, l'Afrique du Sud, le Soudan, la Tunisie, l'Ouganda et les États-Unis (tableau 3). Au moins neuf types de mycotoxine ont été confirmés pour cette culture. La contamination exprimée en intensité (% d'échantillons contaminés) et en niveau ($\mu\text{g}/\text{kg}$) de chaque type de mycotoxine, dans chaque pays, figure au tableau 3.
18. Les aflatoxines ont été signalées dans neuf pays: l'Australie (Ryle, 2010), le Brésil (da Silva, 2004), l'Éthiopie (Amare Ayalew, 2006), l'Inde (Tripathi, 1973; Bhat, 2000); le Nigéria (Hussaini, 2009); le Soudan (CX/CF09/12.2009); la Tunisie (Ghali, 2007, 2009); l'Ouganda (Alpert, 1971) et les États-Unis (Stoloff, 1976; Shotwell, 1969). L'intensité la plus forte, de 100 pour cent, a été signalée en Inde et le niveau le plus élevé, de $3282\mu\text{g}/\text{kg}$, a été signalé au Brésil.
19. Les fumonisines ont été signalées dans quatre pays: le Brésil (da Silva, 2004); l'Éthiopie (Amare Ayalew, 2006); l'Inde (Bhat, 2000) et les États-Unis (Trucksess, 2000). L'intensité de 100%, ainsi que le niveau de $7800\mu\text{g}/\text{kg}$ ont été signalés en Inde.
20. Les ochratoxines ont été signalées dans quatre pays: l'Éthiopie (Amare Ayalew, 2006); le Nigéria (Hussaini, 2009); le Soudan (Anon, 2010) et la Tunisie (Ghali, 2007). L'intensité la plus forte (24%) ainsi que le niveau le plus élevé, de $2106\mu\text{g}/\text{kg}$, ont été signalés en Éthiopie.
21. La zéaralénone a été signalée dans trois pays: la Colombie (Diaz, 1997), l'Éthiopie (Amare Ayalew, 2006) et le Japon (Aoyama, 2009); l'intensité la plus forte (55.6%), a été signalée en Colombie et le niveau le plus élevé, de $7260\mu\text{g}/\text{kg}$, a été signalé au Japon.
22. L'alternariol a été signalé en Afrique du Sud (Sydeham, 1988) et aux États-Unis (Hagler, 1987). Le niveau le plus élevé, de $2250\mu\text{g}/\text{kg}$, a été signalé en Afrique du Sud.
23. Le déoxynivalénol a été signalé seulement en Éthiopie (Amare Ayalew, 2006), avec une intensité de 48,8 pour cent et le niveau le plus élevé de $2340\mu\text{g}/\text{kg}$.
24. L'ergosine a été signalée en Australie (Ryle, 2010). Aucune valeur n'a été signalée pour l'intensité et le niveau.
25. L'alténuène a été signalée en Inde (Ansari, 1990). Le niveau le plus élevé atteint $700\mu\text{g}/\text{kg}$.
26. Le nivalénol a été signalé en Éthiopie (Amare Ayalew, 2006), avec une fréquence faible et un niveau élevé de $380\mu\text{g}/\text{kg}$.
27. Le sorgho étant une culture tropicale et subtropicale, il est généralement cultivé dans les régions où la température et l'humidité favorisent davantage la croissance des champignons producteurs d'aflatoxines que des autres mycotoxines.

Tableau 3: Mycotoxines signalées dans le monde, champignons producteurs, intensité et niveau de contamination du sorgho- septembre 2010

Pays	Mycotoxines signalées	Champignons producteurs	Contamination		Références
			Intensité (%)	Niveau en $\mu\text{g}/\text{kg}$	
Argentine*	n.d**	Fusarium, Aspergillus et Penicillium spp. ont été isolés mentionner les mycotoxines correspondantes	n.d.	n. d.	Gonzalez <i>et al.</i> , 1997

Australie	Ergosine	<i>Claviceps africana</i>	n.d	n. d	Ryle, 2010
	Aflatoxines	n.d.	n.d.	n.d.	Ryle, 2010
Brésil	Aflatoxines B1 et B2	<i>A. flavus</i>	64,4	12 -3282,5	da Silva <i>et al.</i> , 2004.
	Fumonisine B1	<i>F. verticilliodes</i>	91,5	1,2-5,38	da Silva <i>et al.</i> , 2004.
		<i>F.proliferatum</i>	n.d.	faible	da Silva <i>et al.</i> , 2004
Colombie	Zéaralénone	n.d.	55,6	36-3659	Diaz et Cespedes 1997
Éthiopie	Aflatoxine B1	n.d.	8,8	traces-26	Amare Ayalew <i>et al.</i> , 2006
	Ochratoxine A	n.d.	22	54.1-2106	Amare Ayalew <i>et al.</i> , 2006
	Déoxynivalé nol	n.d.	48,8	40-2340	Amare Ayalew <i>et al.</i> , 2006
	Nivalénol	n.d.	Faible	50-380	Amare Ayalew <i>et al.</i> , 2006
	Fumonisines	n.d.	Faible	2117	Amare Ayalew <i>et al.</i> , 2006
	Zéaralénone	n.d.	Faible	32	Amare Ayalew <i>et al.</i> , 2006
Inde	Fumonisine B1	<i>F.moniliforme</i> <i>F.proliferatum</i>	4,5, normale. 100, affecté par la pluie.	150-510 normal. 70-7800 affecté par la pluie.	Bhat <i>et al.</i> ,2000.
	Aflatoxine B1	<i>A. flavus</i>	2,5, normale. 100 affectée par la pluie.	traces-30 normal. 2-830 affecté par la pluie.	Bhat <i>et al.</i> , 2000.
	Aflatoxines B1,B2,G1,G2	n.d.	n.d.	600-800	Tripathi, 1973.
	Alternariol monomethyl ether(AME)	n.d.	n.d.	600-1800	Ansari et Shrivastava, 1990
	Alténuène (ALT)	n.d.	n.d.	20-700	Ansari et Shrivastava, 1990

* : Aucune mycotoxine particulière mentionnée

** : Aucune donnée

Table 3: suite

Pays	Mycotoxines signalées	Champignons producteurs	Contamination		Références
			Intensité (%)	Niveau en µg/kg.	
Japon	Zéaralénone	<i>F. semitectum</i>	52,5 7260	60-	Aoyama, <i>et al.</i> ,2009
Mexique *	Information générale sur les mycotoxines dans les cultures céréalières sans mention particulière sur le sorgho	n.d.	n.d.	n.d.	Garcia, and Heredia,,2006
Nigéria	Aflatoxine B1	<i>A. flavus</i>	54	0-1164.	Hussaini <i>et al.</i> , 2009
	OchratoxineA	n.d.	20,5	0-712.	
	Zéaralénone	n.d.	35,5	0-1454	
Afrique du Sud	Zéaralénone	n.d.	n.d.	0,8- 1,25	Sydenham <i>et al.</i> ,1988
	Alternariol monomethyl ether	n.d.	n.d.	1250-2250	Sydenham <i>et al.</i> ,1988
Soudan	Aflatoxine B1	n.d.	17,8	1-7	CX/CF09/12. 2009
	Aflatoxine B2	n.d.	3,5	1,5	CX/CF09/12. 2009
	Ochratoxine	<i>A. ochraceus</i>	n.d	traces-6,9	Anonymous,2010
Tunisie	Ochratoxines	n.d.	n.d.	n.d.	Ghali <i>et al.</i> , 2007
	Aflatoxine B1	n.d.	n.d.	34-0.53	Ghali <i>et al.</i> , 2009
	AflatoxineB2	n.d.	n.d.	0,11-3,7	Ghali <i>et al.</i> , 2009
	AflatoxineG1	.n.d.	n.d.	0,45-0,70	Ghali <i>et al.</i> ,2007
Ouganda	Aflatoxines	n.d.	n.d.	n.d.	Alpert <i>et al.</i> ,1971
États-Unis	Aflatoxines	n.d.	1,3	<19	Shotwell <i>et al.</i> , 1969b
	Aflatoxines	n.d.	3	13-50	Stoloff, 1976
	Aflatoxines	n.d.	56	1-99	Shotwell <i>et al.</i> ,1969a
	Alternariol monomethyl ether	n.d.	n.d	443	Hagler <i>et al.</i> ,1987
	Fumonisines B1	n.d.	2,8	120	Trucksess <i>et al.</i> , 2000

MYCOTOXINES SIGNALÉES DANS LES PRODUITS À BASE DE SORGHO

28. Dans beaucoup de régions du monde, le sorgho est utilisé dans les produits alimentaires comme le porridge, le pain sans levain, les petits gâteaux, les gâteaux, les boissons maltées et les boissons gazeuses. La préparation alimentaire traditionnelle du sorgho est très variée, la cuisson à l'eau bouillante étant la plus simple. Les grains de petite taille sont généralement préférés pour ce type de produit alimentaire. Le grain entier peut être moulu pour obtenir de la farine ou décortiqué avant de le moudre pour obtenir un produit ou une farine à fines particules qui seront utilisés dans divers aliments traditionnels. Outre l'utilisation non traditionnelle du sorgho, les tentatives de développer dans certains pays une farine composée et l'utilisation dans l'industrie alimentaire japonaise de la farine de sorgho pour élaborer des recettes visant à commercialiser des produits alimentaires de grignotage sont des exemples pertinents. Il est prévu que davantage de produits à base de sorgho blanc seront fabriqués en Amérique du Nord (Conseil américain pour les céréales, 2009). Quelques-uns des exemples les plus récents de contamination des produits à base de sorgho par les mycotoxines sont énoncés dans les paragraphes suivants.

29. Aux États-Unis, Trucksess *et al.* (2000) a analysé la fumonisine B1 dans 35 échantillons de sirop de sorgho prélevés dans 15 états. Un seul échantillon contenait 0,12 µg/g de FB1 (limite de quantification de 0,1µg/g).

30. Au Botswana, Nkwe *et al.* (2005) a isolé dans 46 échantillons de malt, de moût et de bière de sorgho traditionnel *F. verticillioides* et *A. flavus* dans 72 et 37 pour cent des échantillons, respectivement. Aucune aflatoxine n'a été détectée. La fumonisinB1 a été détectée dans le malt à une intensité de 6,5 pour cent et à un niveau de 47-1316µg/kg. La zéaralénone a été détectée dans: le malt, à une intensité de 56 pour cent et à un niveau de 102-2213µg/kg, le moût, à une intensité de 48 pour cent et à un niveau de 26-285µg/L et dans la bière à une intensité de 48 pour cent et à un niveau de 20 -201µg/L.

31. Au Brésil, Campos *et al.* (2008) a isolé dans la semoule de sorgho *Aspergillus spp.*(75,3%) *Alternaria spp.* (22,3%) et *Fusarium. spp.* (2,4%). 77 pour cent des souches de *A. flavus* étaient productrices d'aflatoxine. Tous les échantillons examinés étaient contaminés par les aflatoxines, à des niveaux allant de 0,1 à 23,8µg/kg.

32. En Inde, Bhat *et al.* (2000) travaillant sur des échantillons de sorgho dopés à la fumonisine B1 ont noté une réduction insignifiante de 6,4 pour cent du niveau de fumonisine suite à la cuisson au four du pain plat et une réduction of 11,9% suite à la cuisson du porridge.

33. Mendez-Albores *et al.* (2008) a évalué l'effet du procédé de cuisson-extrusion avec l'ajout d'acides en concentrations différentes sur la stabilité des aflatoxines B dans le sorgho (à 140µg/kg). L'acide citrique a réduit l'aflatoxine de 92 pour cent par rapport à une réduction de 67 pour cent avec l'acide lactique.

RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS

34. Les mycotoxines dont l'occurrence est signalée dans le sorgho sont associées à des risques pour les humains et les animaux à différents degrés de signes épidémiologiques L'aflatoxineB1 est hépatotoxique, mutagène, carcinogène et probablement tératogène chez les animaux. Les fumonisines sont la cause du syndrome d'ataxie qui entraîne la mort chez les chevaux et les ânes et sont associées au cancer de l'œsophage chez les humains. Les ochratoxines sont connues pour être la cause d'une maladie rénale chronique et sont probablement liées au cancer des testicules chez les hommes. Le déoxynivalénol réduit l'assimilation des aliments chez les animaux, engendre des vomissements et l'immunosuppression. La zéaralénone produit des effets estrogéniques chez les mammifères. L'ergosine provoque des vomissements, un déséquilibre endocrinien et des convulsions, et altère les fonctions mentales.

RÉGLEMENTATION

35. De nombreux pays ont établi une réglementation pour les aflatoxines et les ochratoxines, et certains pour le déoxynivalénol et le zéaralénone, d'une façon générale, ou pour quelques cultures données comme le maïs et le blé. Plusieurs méthodes sont disponibles pour les analyser. Les méthodes couramment utilisées sont la chromatographie liquide à haute performance avec détection par fluorescence ou la chromatographie liquide associée à la spectrométrie de masse.

CONCLUSIONS

36. Les principaux pays producteurs de sorgho peuvent être répartis en quatre catégories, par rapport à la production, la productivité, le commerce et l'utilisation:

- Les pays à production élevée, productivité élevée, exportations élevées et qui utilisent le sorgho pour l'alimentation animale et dans d'autres activités industrielles. Cette catégorie réunit les États-Unis, l'Australie et, dans une moindre mesure, l'Argentine.
- Les pays à production élevée, productivité élevée, dont les exportations sont nulles et qui utilisent le sorgho pour l'alimentation animale. Seul le Mexique entre dans cette catégorie.
- Les pays à production élevée, productivité faible, dont les exportations sont faibles ou nulles, et qui utilisent le sorgho pour l'alimentation humaine et animale. Cette catégorie réunit le Nigéria, l'Inde et dans une moindre mesure, l'Éthiopie.
- Les pays à production moyenne à faible, à productivité très faible, dont les exportations sont très faibles et qui importent généralement le sorgho. Ils utilisent le sorgho pour l'alimentation humaine et animale. Cette catégorie réunit le Soudan et le Burkina Faso.

37. Les données et l'information sur l'occurrence des mycotoxines dans le sorgho dans de nombreux pays sont incomplètes. Dans certains cas, seul le genre, comme *Fusarium*, *Penicillium* etc. du champignon producteur est cité sans même faire mention de la toxine produite. Dans d'autres cas, la mycotoxine est mentionnée mais aucune mention n'est faite du champignon producteur. Dans un grand nombre de cas, les toxines ont été signalées sans faire mention du groupe de mycotoxines, comme aflatoxinB1, G1. Généralement, l'intensité et le niveau de la contamination sont bien indiqués.

38. Les principaux champignons toxigènes dans le sorgho sont: *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. ochraceus*, *Alternaria alternata*, *Claviceps africana*, *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. graminearum* et *F. semitectum*.

39. Les aflatoxines sont les mycotoxines les plus documentées dans le sorgho. Elles ont été signalées en Australie, au Brésil, en Éthiopie, en Inde, au Nigéria, au Soudan, en Tunisie, en Ouganda et aux États-Unis à des niveaux allant jusqu'à 3282µg/kg. Les fumonisines, les ochratoxines A et la zéaralénone ont aussi été fréquemment signalées dans divers pays. Une étude en Éthiopie a signalé les tricotécènes déoxynivalénol et nivalénol. Une autre, en Australie, a signalé l'ergosine

40. Des champignons toxinogènes et des mycotoxines ont par ailleurs été signalés dans le sorgho transformé comme la semoule et la bière de sorgho.

RECOMMANDATIONS

- Élaboration d'un **code d'usages** pour la gestion des mycotoxines signalées dans le sorgho avant et après la récolte.
- Évaluation des données sur les mycotoxines dans le sorgho réunies dans le présent document, par le JECFA.
- Établissement d'un **réseau** pour définir les domaines de recherche éminents, coordonner et exécuter les programmes de recherche proposés sur les mycotoxines dans le sorgho.
- Davantage de recherche sur l'**occurrence** des mycotoxines dans le sorgho dans les diverses régions du monde notamment celles où le sorgho est la principale culture céréalière, et dans les pays producteurs et importateurs importants où la culture est couramment utilisée dans l'alimentation animale.
- Des études supplémentaires sur le **stade critique** précis au cours duquel la contamination par les différents champignons producteurs de mycotoxine dans le sorgho a lieu.
- Des études supplémentaires sur les **facteurs physiques** qui affectent la croissance des champignons et la formation des mycotoxines dans le sorgho avant et après la récolte.

- Développement de **méthodes rapides et normalisées** pour identifier les souches toxiques dans les champignons producteurs de toxines et pour mesurer les niveaux de mycotoxines dans le sorgho.
- Entreprendre des études sur les effets de la **transformation traditionnelle** du sorgho sur la contamination initiale.

BIBLIOGRAPHIE

- Alpert, G. E., Hutt, G. S. R., Wogan, G. N. and Davidson, C. S. 1971. Association between aflatoxin content of food and hepatoma frequency in Uganda. *Cancer*. 28: 253-260.
- Amare Ayalew, Hartmut Fehrmann, John Lepschy, Robert Beck and Dawit Abate. 2006. Natural occurrence of mycotoxins in staple cereals from Ethiopia. *Mycopathologia*. 162: 57 – 63.
- Anonymous, 2010. Annual Report, Sudanese Centre for Mycology. Sudanese Standard & Metrology Organization. Khatoum, Sudan.
- Ansari, A.A. and Shrivastava, A.K. 1990. Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in sorghum and ragi from North Bihar, India. *Food Additives and Contaminants*. 7: 815-820.
- Aoyama, K., Ishikuro, E., Nishiwaki, M., Ichinoe, M. 2009. Zearalenone contamination and the causative fungi in sorghum. *J. Food Hyg. Soc.* 50(2): 47-51
- Bandyopadhyay, R., Frederickson, D.E., McLaren, N.W., Odvody, G. N., Ryley, M.J. 1998. Ergot: a new disease threat to sorghum in the Americas and Australia. *Plant Disease*. 82(4): 356-367.
- Bandyopadhyay, R., Kumar, M., Leslie, J. 2007. Relative severity of aflatoxin contamination of cereal crops in West Africa. *Food Additives and Contaminants* 24 (10): 1109-1114.
- Bhat, R. V., Shetty, H.P.K., and Vasanthi, S. 2000. Human and animal health significance of mycotoxins in sorghum with special reference to fumonisins. Pages 107-115, in technical and institutional options for sorghum grain mold management. Proceedings of an international consultation. 18-19 May 2000, ICRISAT Patancheru, India.
- Broggi, L.E., Gonzalez, H.H.L., Resnik, S.L.R., Pacin, A. 2007. *Alternaria alternata* prevalence in cereal grains and soybean seeds from Entre Rios, Argentina. *Rev. Iberoam. Micol.* 24: 47-51.
- Campos, S.G., Cavaglieri, L.R., Fernandez Juri, A.M., Dalcerro, C., Kruger, L.A.M. Keller, Magnoli, C.E., Rosa, C.A.R. 2008. Mycobiota and aflatoxins in raw materials and pet food in Brazil. *J. Animal Physiology and Animal Nutrition* 92: 377-383.
- Davis, N.D. and Diener, U.L. 1970. Environmental factors affecting the production of aflatoxin. In: Herzberg, M., ed. Proceedings of the First US-Japan Conference on Toxic Microorganisms. Washington, D.C. US Govt. Printing Office, pp. 43-47.
- da Silva, J.B., Dilkin, P., Fonseca, H. and Correa, B. 2004. Production of aflatoxins by *Aspergillus flavus* and of fumonisins by *Fusarium* species isolated from Brazilian sorghum. *Braz. J. Microbiol.* 35(3): 182-186.
- Diaz, Gonzalo J. and Cespedes, Angel E. 1997. Natural occurrence of zearalenone in feeds and feedstuffs used in poultry and pig nutrition in Colombia. *Mycotoxin Research*. 13: 81-87.
- Garcia, S. and Heredia, N. 2006. Mycotoxins in Mexico: Epidemiology, management, and control strategies. *Mycopathologia*, 162: 255 – 264.
- Ghali, R., Hmaissia-Khalifa, K., Ghobbel, G., Maaroufi K., and Hidili, A. 2007. Incidence of aflatoxins ochratoxin A and zearalenone in Tunisian food. *J. Food Con.* 19: 921-924.
- Ghali, R., Belouaer I., Hdiri S., Ghorbel, H., Maaroufi K., Hedili A. 2009. Simultaneous HPLC determination of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 in Tunisian sorghum and pistachios. *Journal of Food Composition and Analysis*: 751-755
- Gonzalez, H.H.L. Martinez, E.J. and Resnik, S.L. 1997. Fungi associated with sorghum grain from Argentina. *Mycopathologia*. 139: 35-41.

- Hagler, W.M. Jr., Bowman, D.T., Babadoost, M.; Haney, C.A., Swanson, S.P. 1987. Aflatoxin, zearalenone and deoxynivalenol in North Carolina grain sorghum. *Crop Science*.27:1273-1278.
- Hesseltine, C.W. 1976. Conditions leading to mycotoxin contamination of food and feed. In: Rodrick, J.V., ed. *Mycotoxins and other related food problems*, Washington, D.C., American Chemical Society. pp.1-22 (advances in Chemistry Series 149).
- Hussaini, A.M., Timothy, A.G., Olufunmilayo, H.A., Ezekiel, A.S. and Godwin, H.O. 2009. Fungi and some mycotoxins found in mouldy sorghum in Niger State, Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences* 5(1) 5-17.
- Krausz, J. and Isakei, T. 1998. Sorghum ergot new disease threat to sorghum industry. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A&M University System L 5179 6-98.
- Méndez-Albores, A., Martínez-Bustos, F., Gaytan-Martínez, M., Moreno-Martínez, E. 2008. Effect of lactic and citric acid on the stability of B-aflatoxins in extrusion-cooked sorghum. *Letters in Applied Microbiology* 47:1-7.
- Nelson, P.E., Desjardins, A.E., and Platner, R.D. 1993. Fumonisin, mycotoxins produced by *Fusarium* species: biology, chemistry, and significance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 1993.31:233-52.
- Nkwe, D.O., Taylor, J.E., Siame, B.A. 2005. Fungi, aflatoxins, fumonisin B1 and zearalenone contaminating sorghum-based traditional malt, wort and beer in Botswana. *Mycopathologia* 160:177-186
- Odhav B, Naicker V. Mycotoxins in South African traditionally brewed beers. *Food Addit Contam.* 2002 Jan; 19(1):55-61
- Reis, T.A., Zorzete, P. Pozzi, C.R., da Silva, V.N., Ortega, E., Correa, B. 2010. Mycoflora and fumonisin contamination in Brazilian sorghum from sowing to harvest. *J. Sci Food Agric.* 90:1445-1451.
- Ratnavathi, C.V., Sashidhar, R.B. 2003. Substrate suitability of different genotypes of sorghum in relation to *Aspergillus* infection and aflatoxin production. *J. Agric. Food Chem.* 51: 3482-3492.
- Ryle, M. 2010 Ergot affected and mouldy sorghum. Department of employment, economic development and innovation, Australia. Primary industries and fisheries 28.
- Shetty, P.H. and Bhat, R.V. 1997. Natural occurrence of fumonisin B1 and its co-occurrence with aflatoxin B1 in Indian sorghum, maize and poultry feed. *Journal of Agricultural Food Chemistry*.45:2170-2173.
- Shotwell, O. L., Hesseltine, C. W., Burmeister, H. R., Kwolex, W. F., Shannon, G. M. and Hall, H. H. 1969a. Survey of cereal grains and soybeans for the presence of aflatoxin: II. Corn and soybeans. *Cereal Chem.*, 46. 454-463.
- Shotwell, O. L., Hesseltine, C. W., Burmeister, H. R., Kwolex, W. F., Shannon, G. M. and Hall, H. H. 1969b. Survey of cereal grains and soybeans for the presence of aflatoxin: I. Wheat, grain sorghum, and oats. *Cereal Chem.* 46: 446-454.
- Stoloff, L. 1976. Occurrence of mycotoxins in foods and feeds. In: Rodricks, J. V., ed. *Mycotoxins and other fungal related food problems*, Washington, DC, American Chemical Society. pp. 23-50 (Advances in Chemistry Series 149).
- Sydenham, E.W., Thiel, P.G., Marasas, F.O. 1988. Occurrence and chemical determination of zearalenone and alternariol monomethylether in sorghum-based mixed feeds associated with an outbreak of suspected hyperestrogenism in swine. *Journal of Agricultural Food Chemistry*.36 :621-625.
- Tripathy, R. K., 1973. Aflatoxins in sorghum grains infested with head moulds. *Indian Exp. Biol.*, 11:361-362.
- Trucksess, M.W., Cho, T. and Ready, D. 2000. Liquid chromatographic method for fumonisin B1 in sorghum syrup and corn-based breakfast cereals *Food additives and contaminants*.17:161-166.