

Transformation et qualification des produits

Maîtrise des mycotoxines dans la filière maïs au Brésil

Catherine Brabet¹
Elisabete Salay²
Otniel Freitas-Silva³
Alexandre Florindo Alves⁴
Miguel Machinski Jr.⁵
Eugenia Azevedo Vargas⁶
Nadine Zakhia-Rozis⁷

¹ Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement-Département Amélioration des méthodes par l'innovation scientifique (Cirad-Amis), Universidade estadual de Campinas (Unicamp), Faculdade de engenharia de alimentos (FEA), Departamento de tecnologia de alimentos (DTA), Cidade universitária Zeferino Vaz, Caixa Postal 6121, CEP 13083-970, Campinas, SP Brésil <brabet@cirad.fr>

² Universidade estadual de Campinas (Unicamp), Núcleo de estudos e pesquisas em alimentação (Nepa), Av. Albert Einstein, 291, Cidade universitária Barão Geraldo, CEP 13083-852, Campinas, SP Brésil <salay@fea.unicamp.br>

³ Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa)-Agroindústria de alimentos), Av. das Américas, 29501, CEP 23020-470, Rio de Janeiro, RJ Brésil <ofreitas@ctaa.embrapa.br>

⁴ Universidade estadual de Maringá (UEM), Departamento de economia, Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PR Brésil <florindo@uem.br>

⁵ Universidade estadual de Maringá (UEM), Departamento de análises clínicas, Laboratório de toxicologia, Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PR Brésil <mmjunior@uem.br>

⁶ Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Laboratório de controle de qualidade e segurança alimentar (LACQSA), Av. Raja Gabaglia, 245, Cidade Jardim, CEP 30380-090, Belo Horizonte, MG Brésil <gena@cldnet.com.br>

⁷ Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement-Département Amélioration des méthodes par l'innovation scientifique (Cirad-Amis), TA 40/16, 73, rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier cedex 5 France <nadine.zakhia-rozis@cirad.fr>

Résumé

Cet article présente les activités de recherche menées au Brésil dans le cadre du projet INCO-DEV Mycotox. Ce projet de coopération, financé par la Commission européenne (ICA4-CT-2002-10043), vise le développement d'un système de gestion intégrée de la qualité (SGIQ) pour la maîtrise des mycotoxines dans les filières blé et maïs des pays du Cône sud d'Amérique latine (Brésil, Chili, Argentine et Uruguay). La démarche choisie consiste à appliquer les principes de l'HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) à l'ensemble de la filière dans le cadre d'études de cas réalisées dans les pays du Cône sud partenaires du projet, en s'appuyant sur une double approche technique et socioéconomique. L'accent est mis également sur le développement et la validation de méthodes d'analyse des mycotoxines. Le Brésil étant le troisième producteur mondial de maïs et le secteur avicole le premier consommateur de la production nationale, la filière maïs pour l'alimentation des poulets de chair a été retenue pour l'étude de cas dans ce pays. Le SGIQ développé aura un caractère générique et pourra s'appliquer à d'autres critères de qualité et/ou filières.

Mots clés : productions végétales ; méthodes et outils.

Abstract

Integrated mycotoxin management in the Brazilian corn chain for poultry feed

This article presents the research activities carried out in Brazil within the framework of the INCO-DEV Mycotox project. This co-operation project funded by the European Commission (ICA4-CT-2002-10043) aims at developing an integrated quality management system for the control of mycotoxins in their corn and wheat production chains in Latin America South Cone countries (Brazil, Chile, Argentina, and Uruguay). The project involves institutional partners as well as key actors of the cereal production chains. The approach chosen consists in applying the HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) principles to the entire agri-food chain within the framework of case studies carried out in the South Cone countries involved in the project, taking into account not only the technical issues but also the socio-economic issues. This approach will help validate and implement technical and organizational itineraries adapted to the local contexts for controlling mycotoxin contamination. In addition, the activities emphasise the development and validation of effective analytical methods for mycotoxin determination (chromatographic methods, alternative techniques such as near infrared spectrometry and the mini-column-based Toximet procedure for routine on-field assessment). Brazil is the third largest corn producer in the world. More than 70% of the national production is used for animal feed, most of which poultry. This is the reason why the corn production chain for poultry feed was selected as the case study to be conducted in this country. The integrated quality management system developed will be generic, and will be able to apply to other quality criteria and/or agri-food chains.

Key words: vegetal productions; tools and methods.

Tirés à part : C. Brabet

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires toxiques produits par des moisissures sur une large variété de denrées agricoles (céréales, arachides, noix, café, etc.) avant, pendant et après la récolte. Elles peuvent également se retrouver dans le lait (aflatoxine M1), les abats et viandes (ochratoxine A) d'animaux consommant des aliments contaminés, ainsi que dans les produits alimentaires plus élaborés en raison de leur stabilité [1, 2]. Le développement fongique et la synthèse de toxines dépendent des conditions environnementales telles que la température, l'humidité, l'activité en eau, les lésions physiques dans les tissus végétaux [2, 3].

Le maïs est l'une des denrées les plus prédisposées à la contamination par les mycotoxines. Les aflatoxines, fumonisines, zéaralénone, ochratoxine A et déoxynivalénol dont les caractéristiques sont résumées dans le *tableau 1*, sont les principales mycotoxines produites dans cette céréale [1, 4]. Les méthodes de référence pour leur dosage sont les techniques chromatographiques : chromatographie en couche mince, liquide haute performance ou en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Il existe également des méthodes rapides de *screening* (trialoge) fondées sur l'immuno-chimie (kits Elisa, colonnes d'immunoaffinité). Cependant, des recherches sont en cours pour disposer de méthodes plus rapides et fiables et moins coûteuses pour des contrôles de routine sur le terrain [3].

En raison de leurs effets toxiques variés (*tableau 1*) et de leurs propriétés synergiques, la présence de mycotoxines dans les aliments peut provoquer chez l'homme et les animaux des intoxications aiguës ou chroniques parfois mortelles [2, 3, 5]. À ces problèmes de santé, s'ajoutent des pertes économiques importantes pour les acteurs des filières. D'une part, l'ingestion d'aliments contaminés peut faire baisser les performances d'animaux d'élevage, notamment des poulets (perte d'appétit, réduction de la conversion alimentaire et du gain de poids, diminution de la production d'œufs, etc.) [3, 6]. D'autre part, les aliments présentant des teneurs en mycotoxines supérieures aux limites réglementaires sont refusés et écartés des marchés. De nombreux pays ont en effet imposé des valeurs maximales admissibles pour les mycotoxines afin de protéger la santé des consommateurs. Ces valeurs concernent principalement les aflatoxines, mais aujourd'hui de nouveaux projets de réglementation sont en cours pour les autres mycotoxines. De plus, les limites établies sont de plus en plus strictes, notamment en Europe [1, 3, 7, 8].

La détoxification des aliments contaminés par les mycotoxines est difficile et coûteuse [4]. Il est donc nécessaire de prévenir la formation de ces toxines par la mise en œuvre d'un système de gestion intégrée de la qualité (SGIQ) s'appuyant sur des bonnes pratiques de pré- et post-

récolte et sur des plans de contrôle tout au long de la chaîne alimentaire.

Cet article a pour objectif de présenter les activités de recherche menées au Brésil dans le cadre du projet INCO-DEV Mycotox. Ce projet de coopération, financé par la Commission européenne¹, vise le développement d'un SGIQ pour la maîtrise des mycotoxines dans les filières blé et maïs des pays du Cône sud d'Amérique latine.

Le projet INCO-DEV Mycotox

Il a pour objectif général d'améliorer sur les marchés internes et internationaux la qualité et la compétitivité des céréales produites dans les pays du Cône sud d'Amérique latine, en maîtrisant les risques de contamination par les mycotoxines du maïs, blé et dérivés destinés à la consommation humaine ou animale. Ce projet, coordonné par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), associe des partenaires institutionnels européens (France, Royaume-Uni, Suède) et des pays du Sud (Brésil, Chili, Argentine, Uruguay). Il implique

¹ Projet ICA4-CT-2002-10043.

Tableau 1. Les principales mycotoxines produites dans le maïs [1-3, 5].

Table 1. *The main corn mycotoxins [1-3, 5].*

Mycotoxines	Principales espèces fongiques	Structure chimique	Toxicité
Aflatoxines B1, B2, G1, G2	<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i>	Dérivés de polycétoacides	Animale (volailles dont poulet, porc, veau...) : hépatotoxiques, tératogènes, immunotoxiques, hémorragiques, cancérogènes Humaine : hépatocancérogène
Fumonisines B1, B2, B3	<i>Fusarium moniliforme</i> <i>F. proliferatum</i>	Dérivés de polycétoacides	Animale (volailles dont poulet, porc, veau...) : immunotoxiques Cheval : leucoencéphalomalacie Porc : oedème pulmonaire, hépatotoxiques Humaine : probablement responsables du cancer de l'œsophage
Zéaralénone	<i>Fusarium culmorum</i> <i>F. graminearum</i>	Dérivés de polycétoacides	Animale (porc...) : oestrogénique
Ochratoxine A	<i>Penicillium verrucosum</i> <i>Aspergillus ochraceus</i>	Dérivés de polycétoacides	Animale (volailles dont poulets, porc...) : néphrotoxique, immunotoxique, tératogène, cancérogène Humaine : probablement responsable de la néphropathie endémique des Balkans
Déoxynivalénol (trichothécène)	<i>Fusarium culmorum</i> <i>F. graminearum</i>	Dérivés de terpènes	Animale (porc, volailles...) : immunotoxique, cytotoxique, neurotoxique, dermonécrosante, hémorragique

également les acteurs des filières céréalières pour leur permettre une meilleure appropriation des résultats et outils de gestion de la qualité développés.

Le projet Mycotox comprend six plans d'actions ou *workpackages* (WP) (figure 1). Au Brésil, les activités de recherche s'insèrent dans les WP1, 4, 5 et 6. Les partenaires institutionnels impliqués sont l'Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa), le Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), l'Universidade estadual de Campinas – Núcleo de estudos e pesquisas em alimentação (Unicamp-Nepa), l'Universidade estadual de Maringá (UEM) et l'Instituto de desenvolvimento regional (IDR).

Une approche de terrain intégrée et pluridisciplinaire basée sur les principes de l'HACCP (WP 4, 5 et 6)

Le projet Mycotox se propose de développer un système de gestion intégrée des mycotoxines dans les filières blé et maïs à partir d'études de cas conduites

dans les pays du Cône sud partenaires du projet. La démarche choisie consiste à appliquer les principes de l'HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) à l'ensemble de la filière en s'appuyant sur une double approche technique et socioéconomique. L'HACCP est une méthode préventive, axée sur le procédé, qui vise à garantir la sécurité sanitaire des aliments. Elle repose sur l'évaluation et la gestion des risques chimiques, physiques et biologiques. Structurée et systématique, elle a fait preuve de son efficacité dans les entreprises agroalimentaires, mais elle n'est pas directement transposable à des filières entières qui représentent des systèmes techniques et socioéconomiques complexes [4, 9, 10].

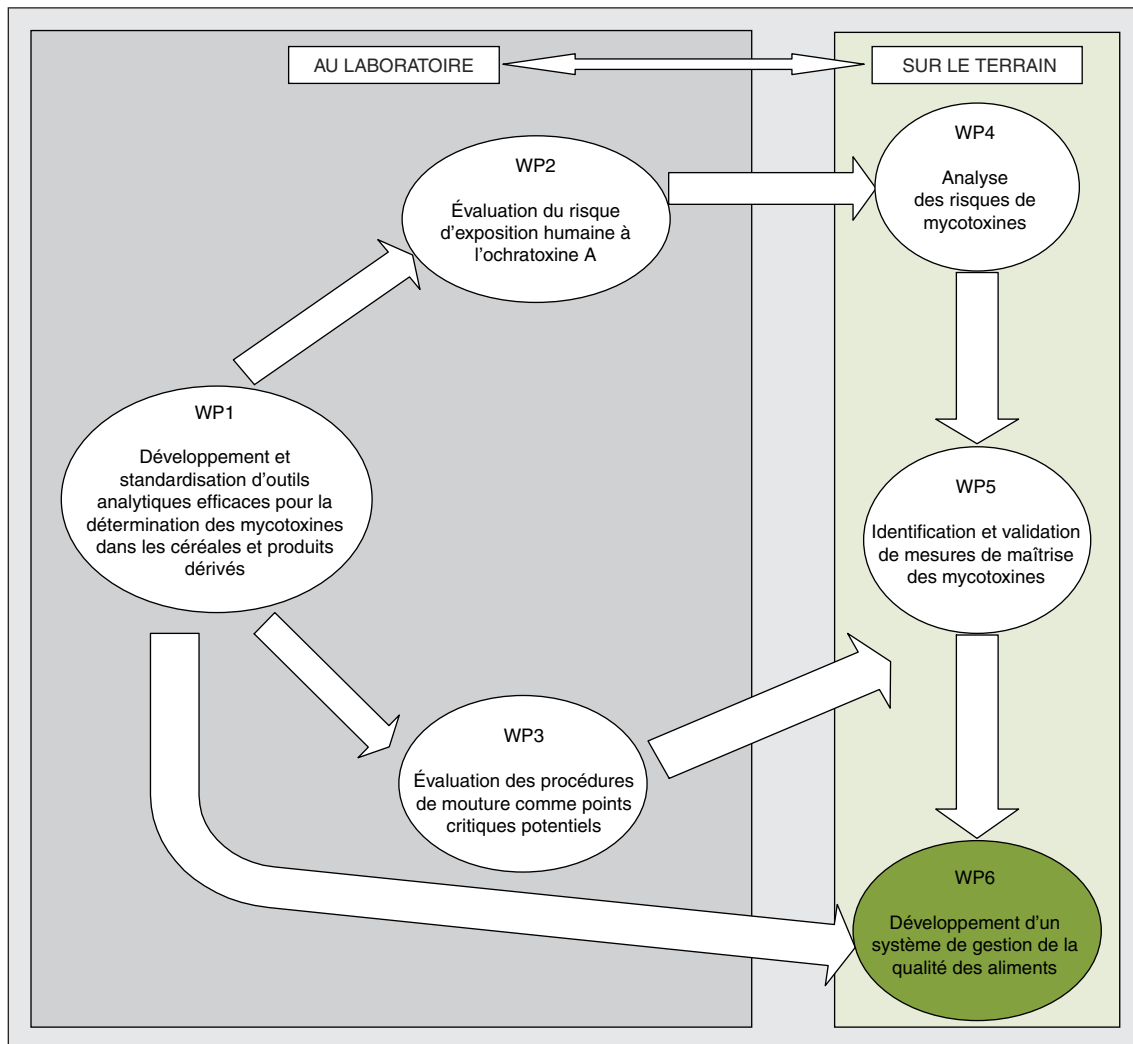


Figure 1. Les six workpackages (WP, plans d'actions) du projet INCO-DEV Mycotox (source : projet INCO-DEV Mycotox).

Figure 1. The six workpackages (WP) of the INCO-DEV Mycotox project. (source: INCO-DEV Mycotox project).

L'approche technique du projet se structure autour de cinq grandes phases inspirées de la méthode HACCP :

- construction du diagramme de flux produit ;
- analyse des dangers ;
- détermination des points critiques et moyens de maîtrise ;
- formalisation des pratiques ;
- mise en œuvre de la méthode sur le terrain.

L'approche socioéconomique s'appuie sur la nouvelle économie institutionnelle et des coûts de transaction qui permet d'appréhender les modes d'organisation et de coordination des acteurs dans une

économie de marché comme dans les filières et réseaux agroalimentaires [11-14]. Cette approche vise les trois objectifs suivants :

- analyse des coûts et bénéfices liés à la mise en place du système HACCP ;
- identification des limitations des structures de gouvernance pour appliquer ce système ;
- détermination d'instruments favorisant son adoption (incitations économiques, réglementation, etc.).

Au Brésil, la filière maïs pour l'alimentation des poulets de chair a été retenue pour l'étude de cas étant donné que ce pays est le troisième producteur mondial

de maïs et le secteur avicole le premier consommateur de la production nationale [15]. Les mycotoxines analysées sont les aflatoxines, fumonisines, zéaralénone et ochratoxine A. Une première série d'enquêtes réalisées auprès des acteurs clés de la filière étudiée a permis de construire et de vérifier le diagramme de flux produit en détaillant pour chaque étape les paramètres techniques et socioéconomiques. La *figure 2* représente la structure générale de la filière étudiée. Cette filière repose sur un système d'intégration verticale dans lequel les éleveurs de poulets sont liés par contrat à l'entreprise intégratrice. Cette

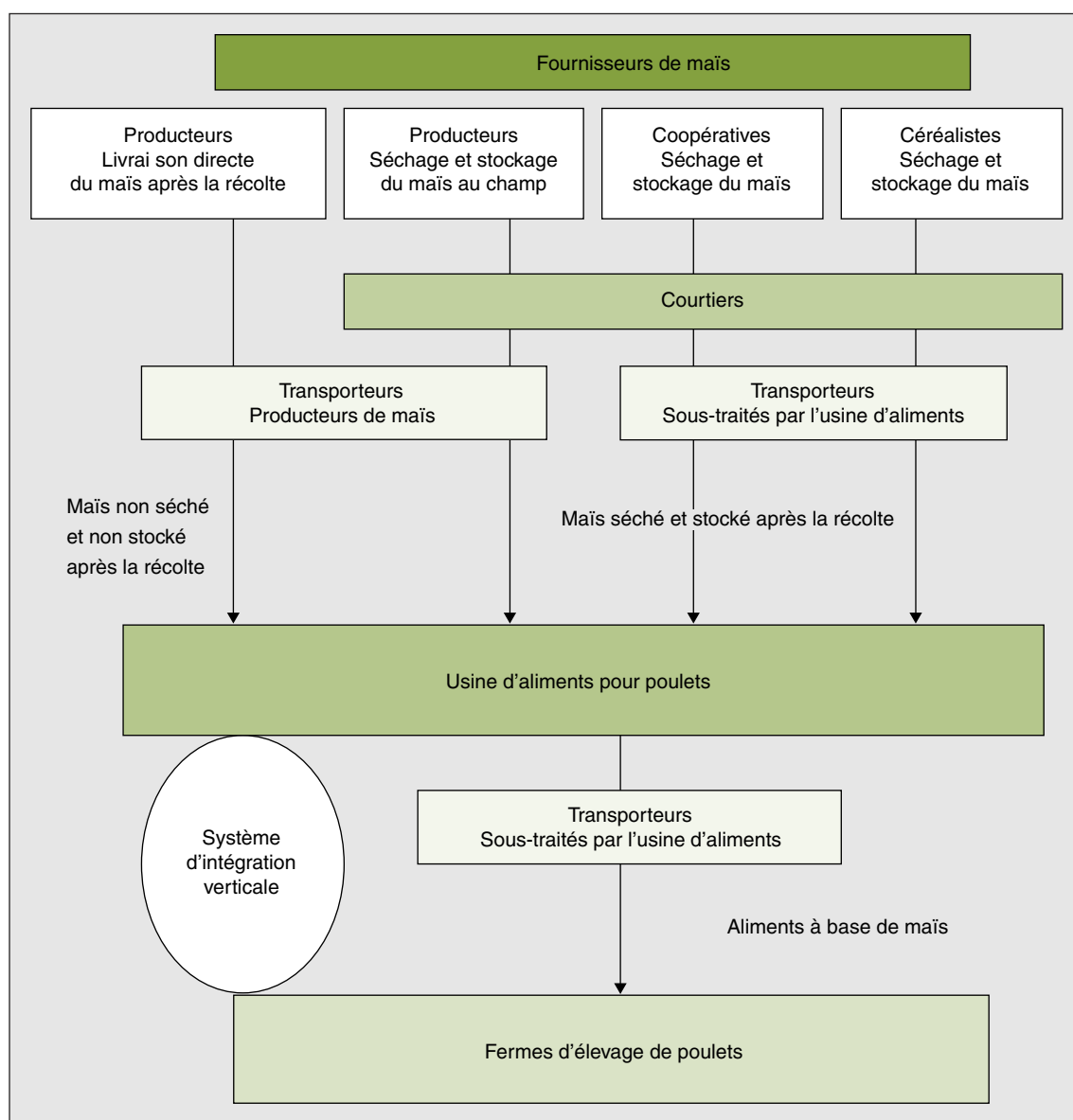


Figure 2. Structure générale de la filière maïs étudiée au Brésil pour l'alimentation des poulets de chair.

Figure 2. General structure of the corn supply chain studied in Brazil for poultry feed.

dernière, qui coordonne tout le processus de production, fournit les intrants (pous-sins d'un jour, aliments, vaccins, etc.) et l'assistance technique. Elle reçoit en contrepartie la totalité des lots de poulets. Quant aux éleveurs de poulets, ils sont responsables de l'engraissement des animaux et doivent fournir les bâtiments et la main-d'œuvre nécessaires à cette activité. Un tel système prédomine aujourd'hui dans l'aviculture brésilienne [15, 16]. Dans la filière étudiée, l'entreprise intégratrice réalise l'abattage, la transformation et la commercialisation des poulets ainsi que la fabrication des aliments. Parmi les fournisseurs de maïs, on distingue les coopératives et les céréalistes qui stockent après séchage le maïs acheté aux producteurs, et deux catégories de producteurs. La première délivre le maïs à l'usine d'aliments directement après la récolte tandis que la seconde le délivre après séchage et stockage au champ. Des courtiers servent d'intermédiaires dans l'achat du maïs auprès des coopératives, céréalistes et producteurs qui réalisent le séchage du maïs au champ. Les études socioéconomiques en cours vont permettre d'approfondir ces aspects, et de préciser en particulier les modes et coûts de transaction entre les différents acteurs de la filière.

Renforcement de l'outil analytique pour le contrôle des mycotoxines

La gestion intégrée des mycotoxines dans les filières céréales passe par la mise en place d'un système de surveillance tout au long de la chaîne alimentaire. Ce système doit s'appuyer sur des méthodes analytiques fiables et validées, et utilisables pour des contrôles de routine sur le terrain. Dans cette optique, le *workpackage* WP1, coordonné par le Mapa, vise les deux objectifs suivants :

1. Garantir la qualité analytique des méthodes chromatographiques utilisées dans le cadre du projet Mycotox pour doser les mycotoxines dans le blé, maïs et dérivés (aflatoxines, fumonisines, zéaralénone, déoxynivalénol et ochratoxine A). Pour atteindre cet objectif, les activités mises en oeuvre sont les suivantes :

- évaluation des méthodes par analyse d'échantillons de référence FAPAS (*Food*

Analysis Proficiency Assessment Scheme du Central Science Laboratory, UK Government Department for Environment Food and Rural Affairs) de contamination connue ;

- production par le Mapa d'échantillons de référence naturellement contaminés ;
- essais interlaboratoires utilisant des échantillons de référence naturellement contaminés (FAPAS ou ceux produits par le Mapa) ;

- essais intralaboratoires utilisant des échantillons de référence artificiellement contaminés ;

- harmonisation de procédures appropriées d'échantillonnage et de présentation et traitement des résultats afin que ces derniers soient correctement obtenus et interprétés. Les résultats douteux ou insatisfaisants sont traités comme non conformes (analyse des causes et mise en place d'actions correctives).

2. Développer des méthodes alternatives simples, fiables et peu coûteuses pour des contrôles de routine sur le terrain. Les techniques de mini-colonne Toximet et de spectroscopie proche infrarouge sont évaluées *versus* les méthodes chromatographiques.

Conclusion

Les activités de recherche menées au Brésil dans le cadre du projet Mycotox permettront de :

- caractériser la contamination par les mycotoxines de la filière maïs pour l'alimentation des poulets de chair ;
- identifier les points critiques de contrôle le long de cette filière ;
- valider des itinéraires techniques et organisationnels adaptés au contexte local pour la maîtrise des risques de contamination.

De plus, ces activités contribueront à constituer et valider un réseau latino-américain de laboratoires de contrôle des mycotoxines dans les céréales.

Le SGIQ mis au point aura un caractère générique et pourra s'appliquer à d'autres critères de qualité et/ou filières. ■

Remerciements

Les auteurs expriment leur reconnaissance à la Commission européenne pour le financement qu'elle a accordé pour le projet Mycotox (contrat ICA4-CT-2002-10043) dans le cadre du programme INCO-DEV.

Références

- Pittet A. Natural occurrence of mycotoxins in foods and feeds : a decade in review. In : De Koe WJ, Samson RA, van Egmond HP, Gilbert J, Sabino M, eds. *Mycotoxins and phycotoxins in perspective at the turn of the millennium. Proceedings of the Xth International IUPAC symposium on Mycotoxins and Phycotoxins – 21-25 May, 2000 Guarujá (Brazil)*. Wageningen : Ponsen & Looyen, 2001 : 153-72.
- Castegnaro M, Pfohl-Leszkwicz A. Les mycotoxines : contaminants omniprésents dans l'alimentation animale et humaine. In : Moll M, Moll N, eds. *La sécurité alimentaire du consommateur*. 2^e édition. Paris : Lavoisier, Tec. & Doc, 2002 : 127-79.
- Council for Agricultural Science and Technology. *Mycotoxins : Risks in plant, animal, and human systems*. Task Force Report No 139. Ames (Iowa) : Council for Agricultural Science and Technology, 2003 ; 199 p.
- Quillien JF. *Les mycotoxines*. PME n°3. Paris : Institut national de la recherche agronomique (Inra), 2002 ; 24 p.
- Hussein HS, Brasel JM. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicol* 2001 ; 167 : 101-34.
- Santurio JM. Micotoxinas e micotoxicoses na avicultura. *Rev Bras Cienc Avic* 2000 ; 2 : 1-12.
- Commission européenne. Règlement (CE) N° 466/2001 de la commission du 8 mars 2001 portant sur fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. *JOCE* 2001 ; L77 : 1-13.
- Le Douarin P, Bargain V. Toxicité des aliments composés. Raisonner les mycotoxines au cas par cas. *Réussir aviculture* 2004 ; 101 : 32-4.
- Flayeux M. La méthode HACCP : données de base. *Industries des céréales* 1999 ; 112 : 10-20.
- Park DL, Njapau H, Boutrif E. *Minimising risks posed by mycotoxins utilising the HACCP concept*. Third joint FAO/WHO/UNEP international conference on Mycotoxins. Tunis, Tunisia, 3-6 March 1999. FAO/WHO/UNEP MYC-CONF/99/8b. Rome : FAO, 1999 ; 12 p.
- Williamson OE. *The economic institutions of capitalism : firms, markets, relational contracting*. New York : The Free Press, 1985 ; 450 p.
- Ménard C. *Institutions, contracts and organizations. Perspectives from new institutional economics*. Northampton (Massachusetts) : Edward Elgar, 2000 ; 480 p.
- Zylbersztajn D, Neves MF. *Economia & Gestão dos Negócios Agroalimentares*. São Paulo : Pioneira, 2000 ; 427 p.
- Hobbs JE, Young LM. Closer vertical co-ordination in agri-food supply chains : a conceptual framework and some preliminary evidence. *Supply Chain Management : an International Journal* 2000 ; 5 : 131-42.
- De Oliveira RO, Wilder A, Henry G, Salay E. *Competitividade do sistema agroindustrial do milho no Brasil. Projet INCO-DEV Mycotox*. Campinas (Brésil) : Unicamp-Nepa, 2003 ; 52 p.
- Richetti A, Santos AC. O sistema integrado de produção de frango de corte em Minas Gerais : uma análise sob a ótica da ECT. *Organizações rurais e agroindústrias* 2000 ; 2 : 34-43.