

# Manuel sur l'application du Système de l'analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise (HACCP) pour la prévention et le contrôle des mycotoxines



## PREFACE

Les mycotoxines sont considérées comme faisant partie des contaminants alimentaires les plus significatifs en termes d'impact sur la santé publique, la sécurité alimentaire et l'économie de nombreux pays, notamment en développement. Elles affectent de nombreux produits agricoles, dont les céréales, les fruits secs, les noix, les grains de café et les graines oléagineuses, qui sont un capital important pour les pays en développement. Ces productions majeures sont très sensibles à la contamination par les moisissures et à la production de mycotoxines. La contamination des produits par les mycotoxines se réalise lorsqu'un ensemble de conditions environnementales au champ, ainsi que de techniques incorrectes de récolte, de stockage, et de transformation sont réunies.

Le Système d'analyse des risques- points critiques pour leur maîtrise (HACCP) est employé de plus en plus fréquemment et avec toujours plus de succès par l'industrie alimentaire et par les agences centrales de contrôle pour prévenir et maîtriser les risques associés à la contamination potentielle des denrées alimentaires par les micro-organismes pathogènes ou les composés toxiques chimiques. Les programmes de sécurité sanitaire des aliments utilisent de façon routinière l'information relative aux facteurs favorisant la contamination pour établir des procédures de prévention et de maîtrise, afin de d'offrir au consommateur des denrées saines et salubres.

Ce manuel a été préparé par L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO ) et l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA), à travers leur Centre de Formation et Référence pour le Contrôle des Aliments et des Pesticides. Son but principal est de conseiller les pays ou les institutions à l'application du système HACCP pour la prévention et le contrôle des mycotoxines.

Le texte et les études de cas ont été préparés par M. Pineiro, du Laboratorio Tecnológico del Uruguay, Ave. Italia 6201, Montevideo, Uruguay et M. Nagler, R Coker, L. Nicolaidis, P. Wareing et R. Myhara de Natural Resources Institute, University of Greenwich, Medway University Campus, Central Avenue, Chatam Maritime, Kent ME4 4 TB, Royaume Uni. Le manuel a bénéficié d'une revue par les pairs et de commentaires par M. Olson, Swedish National Food Administration, D. Park, University of Louisiana et E. Boutrif, Service de la Qualité et des Normes Alimentaires, FAO.

Les exemples présentés dans ce manuel ont été basés sur des études de cas réelles et visent à illustrer l'application spécifique du système HACCP pour la maîtrise des mycotoxines. Il nous faut préciser que les plans HACCP sont seulement des exemples et ne sont valables que dans le contexte de la formation. Chaque plan HACCP doit être développé suivant les 12 étapes et les 7 principes selon la définition du Codex Alimentarius. Il est très improbable que deux plans HACCP seront identiques même pour un même produit.

## TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
Préface?	
Chapitre 1 :	
Présentation des mycotoxines	1
Que sont les mycotoxines ?	1
Mycotoxicologie – approche par systèmes	2
Mycotoxines ayant une importance à l'échelle mondiale	5
• Les aflatoxines	5
• Les trichothécènes	7
• La zéaralénone	7
• Les fumonisines	8
• L'ochratoxine A	8
• La patuline	9
La présence concomitante de mycotoxines	10
Mycotoxines d'importance régionale	10
Chapitre 2 :	
Aperçu de l'analyse des risques et des points critiques pour leur maîtrise	17
Introduction	17
Programmes préalables	18
Principes fondamentaux du système HACCP	19
Création d'un plan HACCP	20
Application du système HACCP à la lutte contre les mycotoxines	24
Conclusions	28
Annexe I: Définitions	29
Annexe II: Les différentes tâches de l'établissement d'un plan HACCP	31
Annexe III: Modèle de formulaire - Description et utilisation prévue du produit	32
Annexe IV : Exemple d'arbre de décision pour déterminer les points critiques	33
Annexe V : Exemple de feuille de travail HACCP	34
Chapitre 3 :	
Exemple d'application du système HACCP à la lutte contre les mycotoxines	35
Exemple 1: Maïs jaune en grains – Asie du Sud-Est	36
Exemple 2: Aliment pour l'élevage à base de maïs	45
Exemple 3: Tourteaux et farine de coprah – Asie du Sud-Est	54
Exemple 4: Beurre d'arachide de production commerciale, Afrique australe	61
Exemple 5: Jus de pomme (boisson à la pomme) – Amérique du Sud	68
Exemple 6 : Pistache en Asie occidentale	78
Références	85

### Liste des tableaux :

Tableau 1: Moisissures et mycotoxines d'importance mondiale	5
Tableau 2: Moisissures et mycotoxines importantes à l'échelle régionale	10
Tableau 3: Description et utilisation prévue du maïs jaune en grains	36
Tableau 4: Feuille de travail pour un plan HACCP - L'Aflatoxine dans le maïs jaune en grains destiné à l'alimentation animale	43
Tableau 5: Description et utilisation prévue du produit	45
Tableau 6: Feuille de travail pour un plan HACCP – Aliments pour l'élevage à base de maïs – Asie du Sud-Est	51
Tableau 7: Description et utilisation prévue du produit	54
Tableau 8: Feuille de travail pour un plan HACCP, Sous-produit du coprah en Asie du Sud-Est	59
Tableau 9: Description et utilisation prévue du produit final	61
Tableau 10: Feuille de travail pour un plan HACCP: Beurre d'arachide produit en Afrique australe	66
Tableau 11: Description et utilisation prévue du produit final	68
Tableau 12: Feuille de travail HACCP – Jus de pomme, Amérique du Sud	73
Tableau 13: Description et utilisation prévue des pistaches	79
Tableau 14: Feuille de travail HACCP – Pistaches grillées produites en Asie de l'Ouest	86

### Liste des Figures:

Figure 1: Le système du produit	2
Figure 2: Le système d'altération	3
Figure 3: Le système des mycotoxines	5
Figure 6: Le système de lutte	12
Figure 7: Instruments pour la sécurité sanitaire des produits : une approche intégrée	13
Figure 8: Schéma HACCP – Maïs jaune en grains d'Asie du Sud-Est	37
Figure 9: Plan HACCP – Schéma du produit : aliment pour l'élevage à base de maïs produit en Asie du Sud-Est	45
Figure 10: Schéma du produit vérifié	55
Figure 11: Schéma du produit : beurre d'arachide en Afrique Australe	62
Figure 12: Schéma du processus HACCP : jus de pomme	68
Figure 13: Schéma du procédé HACCP: pistaches grillées, Asie de l'Ouest	79

## PRÉSENTATION DES MYCOTOXINES

### QUE SONT LES MYCOTOXINES?

..."Des hommes s'écroulaient dans la rue en gémissant et en se tordant, d'autres tombaient de tout leur long en bavant dans des accès d'épilepsie, d'autres encore vomissaient et montraient des signes de folie. Beaucoup d'entre eux criaient "Au feu! je brûle!". C'était comme un feu invisible qui séparait la chair des os et la consumait. Des hommes, des femmes et des enfants mouraient dans des douleurs atroces."...

C'est ainsi qu'un chroniqueur du dixième siècle décrivait une maladie qui sévissait dans de nombreuses contrées d'Europe en l'an 943 de notre ère. On donna à cette maladie le nom de "mal des ardents" à cause de la sensation d'être en feu ressentie par ses victimes, qui se rendaient en grand nombre sur la tombe de Saint Antoine en France dans l'espoir d'être guéries. Nous savons maintenant que le mal des ardents (l'ergotisme) était provoqué par la consommation de seigle contaminé par des alcaloïdes de l'ergot produits par la moisissure *Claviceps purpurea* (Bove, 1970; Beardall et Miller, 1994), et qu'il avait atteint les proportions d'une épidémie dans de nombreuses parties de l'Europe du dixième siècle. On désigne les métabolites secondaires toxiques tels que les alcaloïdes de l'ergot, qui sont produits par certaines moisissures, par le terme de "mycotoxines" et les maladies qu'ils provoquent par celui de "mycotoxicoses".

Selon la définition qu'en a donné récemment Pitt (1996), les mycotoxines sont "des métabolites de champignons qui, quand ils sont ingérés, inhalés ou absorbés par la peau altèrent les capacités de réaction et provoquent des maladies ou la mort chez l'homme ou l'animal, y compris les oiseaux."

Il est probable que les mycotoxines ont été un fléau pour l'humanité depuis les premiers temps de la culture sédentaire. On a, par exemple, émis l'hypothèse que le dépeuplement important de l'Europe occidentale au treizième siècle serait dû au remplacement du seigle par le blé, qui constituait une source importante de mycotoxines de *Fusarium* (Miller, 1991). Le développement de ces toxines dans les céréales ayant passé l'hiver a aussi été à l'origine de la mort de milliers de personnes, décimant des villages entiers de Sibérie pendant la Seconde guerre mondiale. Les mycotoxicoses, connues plus récemment sous le nom d'"aleucie toxique alimentaire" provoquent des vomissements, une inflammation aiguë du tube digestif, une anémie, une défaillance circulatoire et des convulsions.

Les mycotoxines sont présentes dans toute une série de produits de l'alimentation humaine et animale et provoquent de nombreuses maladies chez l'homme et l'animal (Mayer, 1953; Coker, 1997). Le contact avec les mycotoxines peut être à l'origine de toxicités aiguës et chroniques allant de la mort à des effets délétères sur le système nerveux central, l'appareil cardiovasculaire et l'appareil respiratoire, ainsi que sur l'appareil digestif. Elles peuvent aussi avoir des effets carcinogènes, mutagènes, tératogènes et immunosuppresseurs. Le pouvoir qu'ont certaines d'altérer les réactions immunitaires et, ainsi, de réduire la résistance aux infections, est maintenant largement considéré comme leur effet le plus important, surtout dans les pays en développement.

Les mycotoxines retiennent l'attention dans le monde entier en raison des pertes économiques importantes qui sont liées à leurs effets sur la santé de l'homme, la productivité animale et le commerce national et international. On a estimé, par exemple, (Miller, communication personnelle) que les pertes annuelles aux États-Unis et au Canada dues à l'effet des mycotoxines sur les aliments du bétail et les industries de l'élevage étaient de l'ordre de 5 milliards de dollars. Dans les pays en développement, où les vivres (par exemple le maïs et les arachides) sont susceptibles d'être contaminés, il est probable qu'il faille y ajouter des pertes importantes dans la population humaine en raison de la morbidité et des décès prématurés associés à la consommation de mycotoxines.

## MYCOTOXICOLOGIE - APPROCHE PAR SYSTÈMES

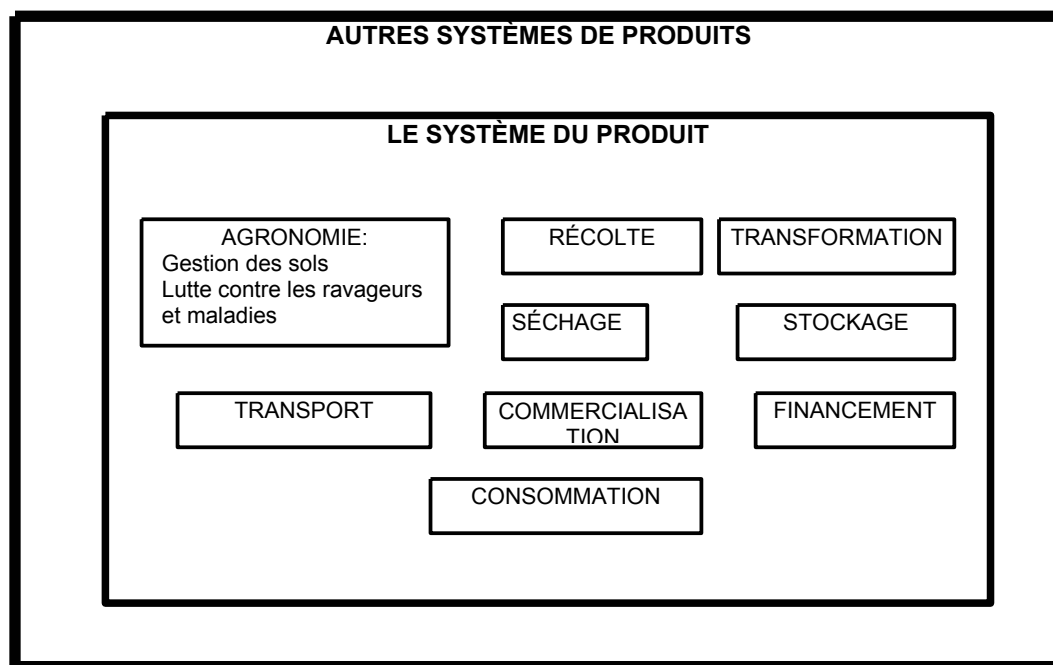
Un "système" peut être considéré comme un ensemble d'éléments en interaction dont les interactions sont aussi importantes que les éléments eux-mêmes (d'après Open University, enseignement par correspondance, 1987). L'approche par systèmes de la maîtrise des mycotoxines fait appel (Coker, 1997) à des modèles conceptuels d'interaction entre les sous-systèmes que sont le produit, l'altération, la mycotoxine et l'intervention, ainsi qu'à l'intérieur de chacun d'eux. Au sein d'un système, les sous-systèmes peuvent interagir librement, autrement dit l'activité dans un sous-système peut influencer sur ce qui se passe dans un ou plusieurs autres.

Une meilleure connaissance des interactions et des éléments que comportent ces systèmes permettra de mieux comprendre l'étiologie de la production des mycotoxines et de définir les interventions appropriées pour maîtriser les mycotoxines et les mycotoxicoses.

### LE SYSTÈME DU PRODUIT

Tout système de produit se compose de nombreux "processus" techniques et socio-économiques s'influençant mutuellement, qui comprennent par exemple la lutte contre les ravageurs et les maladies, la récolte, le séchage, la transformation, la commercialisation, les politiques de prix et de crédit, ainsi que des questions culturelles, pour n'en citer que quelques uns. La figure 1 représente un système de marchandises généralisé et simplifié et les interactions entre certains processus qui en constituent les sous-systèmes.

**Figure 1 Le système du produit**



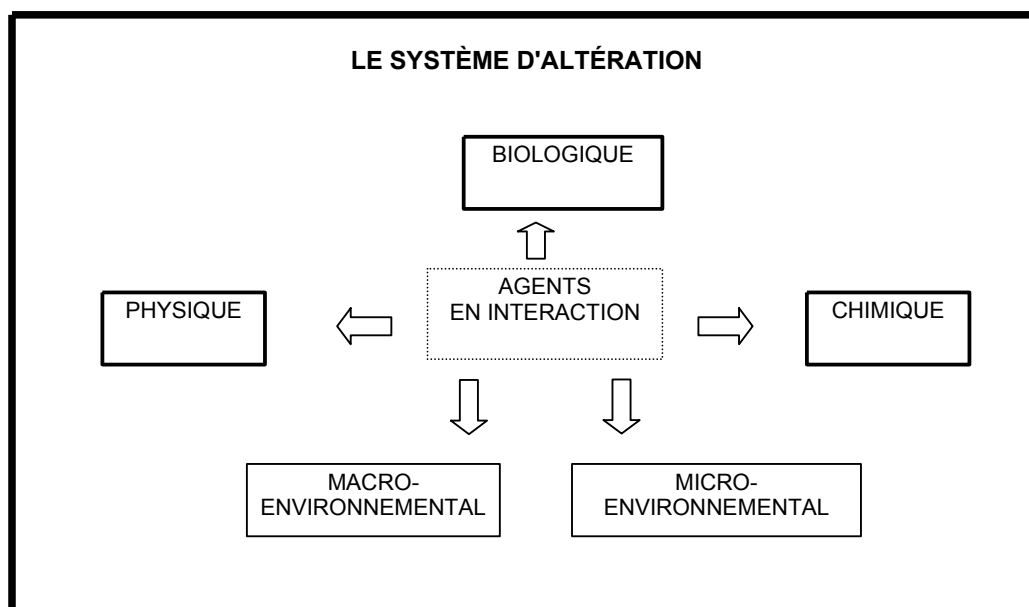
En tout point du système de produit, l'état du produit est déterminé par un milieu complexe comportant une multitude d'interactions entre la culture, le macro environnement et le micro environnement et toute une série de facteurs biologiques, chimiques, physiques et socio-économiques. Tout changement dans un processus entraînera invariablement des changements dans un ou plusieurs des autres processus. Les mesures prises avant la récolte pour prévenir les dégâts des ravageurs ou pour augmenter la production (par exemple sélection de variétés, planification de la récolte) peuvent avoir des effets sensibles sur la qualité du produit récolté. Le maïs blanc hybride, par exemple, a des

rendements bien supérieurs à ceux de variétés traditionnelles mais il a des caractéristiques médiocres en ce qui concerne son stockage sur l'exploitation. De même, étant donné qu'il est très rare qu'un système de produit existe de manière isolée dans une région agroclimatique donnée, il ne faut pas perdre de vue que les activités dans un système peuvent influencer de manière déterminante sur ce qui se passe dans les autres systèmes. Les ressources des agriculteurs étant limitées, une augmentation de l'importance d'un produit entraîne souvent la diminution des ressources affectées à d'autres produits.

## LE SYSTÈME D'ALTÉRATION

La détérioration biologique est le résultat net des interactions entre de nombreux agents d'altération que l'on peut *grosso modo* classer dans les catégories biologique, chimique, physique, macroenvironnementale et microenvironnementale (figure 2). Toutefois, les effets relatifs de ces agents dépendent souvent dans une large mesure de la nature et du degré de l'intervention humaine.

Figure 2 Le système d'altération



Les facteurs qui contribuent au premier chef à la biodétérioration (dont fait partie le développement de moisissures) d'un écosystème sont l'humidité, la température et les ravageurs. Les moisissures se développent à des températures très étalées et, en général, le rythme de développement de la moisissure diminue en même temps que la température et l'humidité. Dans les céréales, les moisissures utilisent la vapeur d'eau présente dans les interstices entre les grains dont la concentration est déterminée par l'équilibre entre l'eau libre contenue dans le grain (la teneur en eau du grain) et l'eau présente sous forme de vapeur autour du grain. La concentration de l'eau interstitielle est désignée soit par les termes d'"humidité relative d'équilibre" (exprimée en pourcentage), soit par ceux de "facteur d'humidité" (ou activité de l'eau,  $a_w$ ). Ce dernier désigne le rapport entre la tension de vapeur de l'eau contenue dans le grain et celle de l'eau pure dans les mêmes conditions de température et de pression. Le degré hygrométrique d'équilibre correspond au facteur d'humidité exprimé en pourcentage. Pour un degré d'humidité connu, le facteur d'humidité varie selon les céréales, qui favorisent donc des types et des rythmes différents de développement de moisissures. Les valeurs caractéristiques du facteur d'humidité qui sont nécessaires pour permettre le développement des moisissures s'échelonne de 0,70 à 0,99, le facteur d'humidité et la propension au développement des moisissures augmentant avec la température. Le maïs, par exemple, peut se conserver relativement bien pendant un an dans une humidité relative de 15 pour cent et à une température de 15°C. Stocké à 30°C, le même maïs sera sévèrement détérioré par des moisissures en l'espace de trois mois.

Les insectes et les mites (arthropodes) peuvent aussi contribuer notablement à la biodétérioration des céréales par les dégâts physiques et les pertes de nutriments causés par leur action, et aussi en raison de leur interaction complexe avec les moisissures et les mycotoxines. L'activité métabolique des insectes et des mites provoque une élévation à la fois de la teneur en eau et de la température des céréales infestées. Les arthropodes font aussi office de porteurs de spores fongiques, lesquelles peuvent utiliser leurs matières fécales comme source de nourriture. Enfin, les moisissures peuvent servir de nourriture pour les insectes et les mites mais, dans certains cas, être pour eux des agents pathogènes.

L'autre facteur susceptible d'influer sensiblement sur le développement des moisissures est la proportion de grains brisés se trouvant dans un lot de céréales. Ces grains, endommagés par la manutention ou les insectes, se prêtent à l'invasion de l'endosperme exposé par les moisissures.

Le développement des moisissures est aussi fonction des proportions d'oxygène, d'azote et de dioxyde de carbone présents dans l'atmosphère interstitielle. De nombreux champignons se développent malgré des teneurs très faibles en oxygène; la croissance linéaire n'est divisée par deux, par exemple, que lorsque la teneur en oxygène est réduite à moins de 0,14 pour cent. Les interactions entre les gaz et l'humidité influencent également le développement des moisissures.

Les interactions que nous venons de décrire au sein d'un écosystème granulaire favorisent le développement de micro-organismes, parmi lesquels les moisissures toxigènes, qui se succèdent selon l'évolution avec le temps de la nourriture disponible et du microenvironnement. Dans le champ, les céréales sont principalement attaquées par les moisissures qui ont besoin pour leur croissance d'un facteur d'humidité élevé (de 0,88 au moins) tandis que pendant le stockage, les moisissures qui se développent supportent des degrés d'humidité moindres.

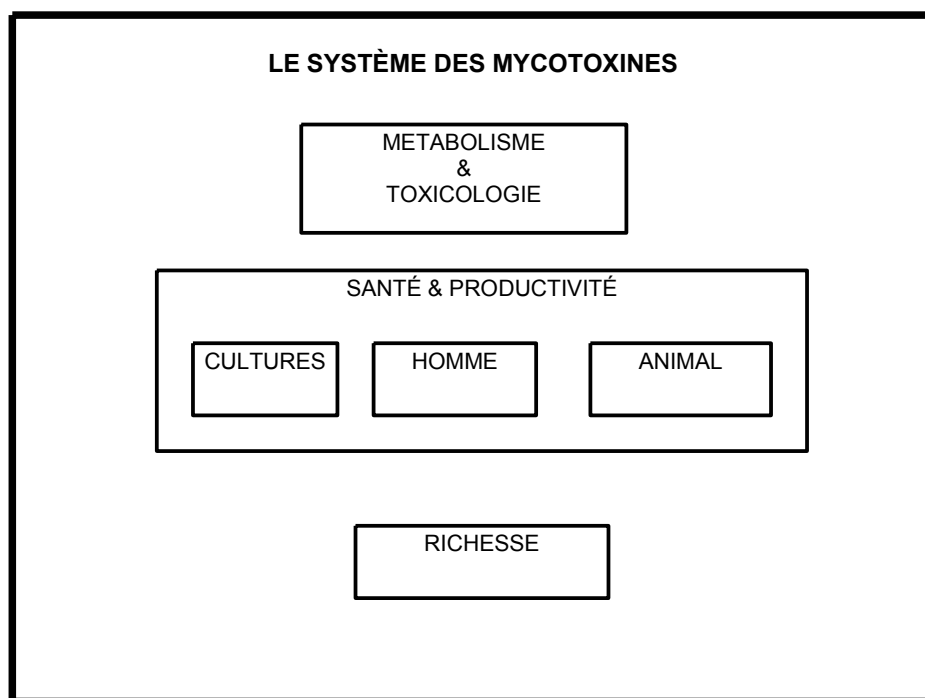
On s'accorde à reconnaître que les principaux facteurs qui influent sur la production de mycotoxines sont le facteur d'humidité et la température, mais, en raison de la complexité des écosystèmes propices à leur apparition, les conditions dans lesquelles des moisissures toxigènes engendrent des mycotoxines restent mal connues et ont récemment fait l'objet d'une étude de grande ampleur (ICMSF, 1996).

## **LE SYSTÈME DES MYCOTOXINES**

Le système des mycotoxines (figure 3) peut être étudié sous l'angle de trois sous-systèmes en interaction: métabolisme et toxicologie; santé et productivité; et richesse. Après entrée en contact (par ingestion, inhalation ou par l'épiderme), la toxicité d'une mycotoxine dépend d'une série d'événements (métabolisme) comprenant l'administration, l'absorption, la transformation, la pharmacocinétique, les interactions moléculaires, la distribution et l'excrétion de la toxine et de ses métabolites. Par la suite, la toxicité de la mycotoxine se manifeste par des effets sur la santé et la productivité des cultures, de l'homme et de l'animal, et ces effets se répercutent sur la production de richesse associée à l'activité humaine et à la production agricole et animale.



**Figure 3 Le système des mycotoxines**



**Mycotoxines ayant une importance à l'échelle mondiale**

On trouvera dans le tableau 1 les moisissures et les mycotoxines actuellement considérées comme ayant une importance à l'échelle mondiale (Miller, 1994).

Sont considérées comme "importantes" les mycotoxines qui ont montré qu'elles pouvaient avoir des effets sensibles sur la santé humaine et la productivité animale dans divers pays.

**Tableau 1 - Moisissures et mycotoxines d'importance mondiale**

Espèce de moisissure	Mycotoxines engendrées
<i>Aspergillus parasiticus</i>	Aflatoxines B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>
<i>Aspergillus flavus</i>	Aflatoxines B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub>
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	Toxine T-2
<i>Fusarium graminearum</i>	Déoxynivalénol (ou nivalénol) Zéaralénone
<i>Fusarium moniliforme (F. verticillioides)</i>	Fumonisine B <sub>1</sub>
<i>Penicillium verrucosum</i>	Ochratoxine A
<i>Aspergillus ochraceus</i>	Ochratoxine A

**Les aflatoxines**

Le facteur d'humidité optimal pour le développement de *A. flavus* est élevé (environ 0,99). Il est au maximum de 0,998, mais le minimum n'a pas été déterminé précisément. Selon Pitt et Miscamble (1995), il serait de l'ordre de 0,82. En général, la production de toxines semble être favorisée par une forte humidité. D'après ce que l'on sait d'*A. flavus*, elle se développerait à une température comprise

entre 10 et 43°C. Le rythme de développement optimal, pouvant atteindre 25 mm par jour, est observé à une température légèrement supérieure à 30°C. *A. flavus* produit des aflatoxines lorsque la température est au moins comprise entre 15 et 37°C. Il n'est pas possible d'affirmer quelle est la température optimale pour la production des toxines, mais on a signalé qu'elle était sensiblement plus élevée dans la fourchette de 20 à 30°C qu'à des températures soit inférieures, soit supérieures.

L'effet du facteur d'humidité et de la température sur le comportement d'*A. parasiticus* est analogue à ce qui vient d'être décrit pour *A. flavus*. Pitt et Miscamble (1995) rapportent un minimum de 0,83 pour le développement de la moisissure et de 0,87 environ pour la production d'aflatoxine. On ne dispose que de peu de données en ce qui concerne l'effet de la température sur le développement de *A. parasiticus* et la production d'aflatoxines. Selon certaines sources, les températures optimales pour le développement et la production d'aflatoxines seraient respectivement de 30 et 28°C.

Le terme "aflatoxine" a été forgé au début des années soixante lorsque la mort de milliers de dindes ("maladie de la dinde"), de canetons et autres animaux domestiques a été attribuée à des toxines d'*A. flavus* présentes dans la farine d'arachides importée d'Amérique latine (Austwick, 1978).

### **Quelques mycotoxines importantes**

(Bien que les aflatoxines soient les principales toxines associées à cette mycotoxicose, une autre mycotoxine, l'acide cyclopiazonique semble avoir joué un rôle (Bradburn *et al.*, 1995) dans l'étiologie de la maladie de la dinde). Les effets chroniques de l'ingestion de faibles quantités d'aflatoxines (en parties par milliard) par le bétail ont aussi été abondamment étudiés (Coker, 1997) et comprennent une diminution de la productivité et une propension accrue à la maladie.

Les moisissures qui engendrent des aflatoxines sont très répandues dans le monde entier, sous les climats tempéré, subtropical et tropical, et les aflatoxines peuvent être produites avant comme après les moissons, sur de nombreux aliments de l'homme et de l'animal et plus particulièrement sur les oléagineux, les fruits comestibles en coque et les céréales (Coker, 1997).

Bien que les aflatoxines soient principalement associées à des denrées d'origine subtropicale ou tropicale, on a aussi signalé leur présence (Pettersson *et al.*, 1989) en climat tempéré sur des céréales traitées à l'acide.

L'aflatoxine B1 est un agent cancérogène pour l'homme (CIRC, 1993a) et constitue l'un des plus puissants facteurs de cancer du foie que l'on connaisse. Des décès chez l'homme ont aussi été provoqués (Krishnamachari *et al.*, 1975) par des intoxications aiguës par l'aflatoxine en 1974, par exemple, lorsque des pluies hors de saison et une pénurie alimentaire ont poussé la population à consommer du maïs fortement contaminé. Si l'effet immunosuppresseur des aflatoxines chez le bétail se manifeste de la même façon chez l'homme, il est possible que les aflatoxines (et autres mycotoxines) jouent un rôle important dans l'étiologie de certaines maladies humaines dans les pays en développement, où l'on rapporte que le risque de contamination est très élevé.

Lubulwa et Davis (1994) ont étudié les pertes économiques imputables à la présence d'aflatoxine dans le maïs et les arachides dans les pays du sud-est asiatique (Thaïlande, Indonésie et Philippines). Ils ont conclu que le maïs contaminé représentait environ 66 pour cent des pertes totales, tandis que les pertes imputables à l'altération et aux effets délétères sur la santé humaine et animale étaient respectivement de 24, 60 et 16 pour cent du total. L'étude n'a cependant tenu compte que de pertes liées à la morbidité et au décès prématuré par cancer. Il est donc probable que, lorsque l'on y ajoute les incidences sur la santé humaine de l'effet immunosuppresseur des aflatoxines (et d'autres mycotoxines), le chiffre des pertes dues aux aflatoxines est beaucoup plus important.

## Les trichothécènes

On sait étonnamment peu de chose des effets de l'humidité et de la température sur le comportement des moisissures du genre *Fusarium*, et, entre autres, sur la production de mycotoxines.

Dans le cas de *F. graminearum*, les limites de température dans lesquelles la croissance est possible n'ont pas été rapportées, mais la température optimale a été estimée entre 24 et 26°C. Le facteur d'humidité minimal est de 0,9, et la limite supérieure dépasserait 0,99. On ne dispose d'aucune information sur l'effet de l'humidité et de la température sur la production de déoxynivalénol, de nivalénol et de zéaralénone.

Le facteur d'humidité minimal nécessaire au développement de *F. sporotrichioides* est de 0,88, et la limite supérieure dépasserait 0,99. Les températures minimale, optimale et maximale sont respectivement de -0,2°C, 22,5 à 27,5°C, et 35°C. Comme pour les autres espèces de *Fusarium*, on ne dispose d'aucune information sur les conditions requises pour la production de toxine T-2.

La toxine T-2 et le déoxynivalénol se rattachent à un vaste groupe de sesquiterpènes de structure apparentée connu sous le nom de trichothécènes.

La toxine T-2, produite sur les céréales dans de nombreuses parties du monde, est particulièrement associée à une période prolongée d'humidité pendant la moisson. Elle est probablement à l'origine de l'aleucie toxique alimentaire, maladie (CIRC, 1993b) qui a touché des milliers de personnes en Sibérie pendant la Seconde guerre mondiale, effaçant de la carte des villages entiers. Les symptômes de la maladie comprennent la fièvre, les vomissements, l'inflammation aiguë du tube digestif et divers désordres sanguins. La toxine T-2 est responsable d'épidémies de maladie hémorragique chez les animaux et associée à la formation de lésions orales et à des effets neurotoxiques chez la volaille. L'effet le plus significatif de la toxine T-2 (ainsi que d'autres trichothécènes) est son effet immunosuppresseur, qui a été clairement démontré dans des expérimentations animales et qui est probablement lié à l'inhibition par cette toxine de la biosynthèse de macromolécules. Quelques résultats expérimentaux permettent de penser que la toxine T-2 peut être cancérigène chez l'animal.

Le déoxynivalénol (DON), mycotoxine de *Fusarium* probablement la plus répandue, contamine diverses céréales, en particulier le maïs et le blé, dans les pays développés comme les pays en développement. Les syndromes émétiques et le refus de nourriture provoqués chez le bétail par la présence de DON dans les aliments ont conduit à donner à cette mycotoxine le nom de toxine émétique.

L'ingestion de DON a provoqué des accès aigus de mycotoxicoses chez l'homme en Inde, en Chine et dans les campagnes japonaises (CIRC, 1993c; Bhat *et al.*, 1989; Luo, 1988). L'épisode qui a eu lieu en Chine en 1984-1985 était déclenché par du maïs et du blé moisi; les symptômes, apparus dans les cinq à trente premières minutes, se présentaient sous la forme de nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhée, vertiges et céphalées.

Jusqu'à présent, il n'y a qu'au Japon que des isolats de *F. graminearum* produisant du nivalénol aient été observés sur le riz ou d'autres céréales et associés à la maladie de la moisissure rouge ("Akakabi-byo") qui se manifeste par une anorexie, des nausées, des vomissements, des céphalées, des douleurs abdominales, de la diarrhée et des convulsions (Marasas *et al.*, 1984).

## La zéaralénone

La zéaralénone est une mycotoxine oestrogène que l'on trouve en faibles quantités, principalement dans le maïs, en Amérique du Nord, au Japon et en Europe. Elle peut être présente en grandes quantités dans les pays en développement, particulièrement lorsque le maïs est cultivé dans des conditions plus tempérées, par exemple en altitude.

La zéaralénone, coproduite avec le déoxynivalénol par *F. graminearum*, est associée, avec le DON, à des épisodes aigus de mycotoxicoses chez l'homme.

Le contact avec du maïs contaminé est à l'origine (Udagawa, 1988) d'une hyperoestrogénie chez le bétail, principalement chez le porc, qui se caractérise principalement par une tuméfaction vulvaire et mammaire et une infertilité. Quelques éléments recueillis dans des expérimentations animales permettraient de conclure à un effet carcinogène de la zéaralénone.

### **Les fumonisines**

Les fumonisines sont un groupe de mycotoxines récemment caractérisées produites par *F. moniliforme*, une moisissure présente dans le monde entier et fréquemment retrouvée sur le maïs (CIRC, 1993d). La fumonisine B1 a été observée dans le maïs et les produits en contenant dans diverses régions agroclimatiques comprenant les États-Unis, le Canada, l'Uruguay, le Brésil, l'Afrique du Sud, l'Autriche, l'Italie et la France. Ces toxines sont observées principalement en présence de maïs cultivé sous un climat chaud et sec.

Le facteur d'humidité minimal nécessaire au développement de *F. moniliforme* est de 0,87, la limite supérieure se situant au delà de 0,99. Les températures minimale, optimale et maximale pour son développement sont respectivement de 2,5 à 5,0°C, de 22,5 à 27,5°C et de 32 à 37°C. On ne dispose d'aucune information sur les conditions nécessaires à la production de fumonisine B1.

Le contact avec la fumonisine B1 du maïs provoque une leucoencéphalomalacie chez le cheval et un oedème pulmonaire chez le porc. Cette maladie a été signalée dans de nombreux pays parmi lesquels les États-Unis, l'Argentine, le Brésil, l'Égypte, l'Afrique du Sud et la Chine. La fumonisine B1 est aussi toxique pour le système nerveux central, le foie, le pancréas, les reins et les poumons de plusieurs espèces animales.

La présence de fumonisine dans le maïs a été liée à l'apparition de cancers oesophagiens chez l'homme dans le Transkei, en Afrique australe, et en Chine. Le rapport entre le contact avec du maïs de culture familiale contaminé par *F. moniliforme* et l'incidence de cancers oesophagiens a été étudié au Transkei pendant la période 1976-1986 (Rheeder *et al.*, 1992). Le pourcentage de grains contaminés par *F. moniliforme* était sensiblement plus élevé dans la zone à haut risque de cancer pendant toute la période, et les quantités de fumonisine B1 et B2 étaient notablement plus importantes dans le maïs moisi cultivé dans les zones à haut risque en 1986.

Avant cela, le Centre international de recherche sur le cancer avait réalisé une étude dans laquelle il concluait que les expérimentations animales avaient fourni des preuves suffisantes du pouvoir cancérigène de cultures de *F. moniliforme* contenant des quantités significatives de fumonisines; en revanche, il n'y avait que peu d'éléments prouvant, sur des animaux, le pouvoir carcinogène de la fumonisine B1 (CIRC, 1993d). Pourtant, les résultats d'une étude récemment achevée sur la toxicité et le pouvoir carcinogène de la fumonisine B1 ont fait l'objet d'un rapport du National Toxicology Program du Ministère de la santé et des services humains des États-Unis (NTP, 1999). Quoique encore à l'état de projet, le rapport conclut que l'effet carcinogène de la fumonisine B1 chez les rats mâles F344/N a été démontré sans ambiguïté par l'augmentation de l'incidence des néoplasmes des tubules rénaux, de même que son effet carcinogène chez la souris femelle B6C3F1 par l'augmentation de l'incidence des néoplasmes hépatocellulaires. Il n'existe pas de preuves du pouvoir carcinogène de la fumonisine B1 chez les rats femelles ou les souris mâles.

### **L'ochratoxine A**

*A. ochraceus* se développe plus lentement que *A. Flavus* et *A. parasiticus*, mais peut se développer dans un facteur d'humidité aussi faible que 0,79. Sa température de développement serait comprise entre 8 et 37°C avec un optimum variant, selon les rapports, entre 25 et 31°C. L'ochratoxine A est produite dans une fourchette de températures de 15 à 37°C, avec une valeur optimale à 25-28°C.

*P. verrucosum* se développe à des températures comprises entre 0 et 31°C et dans une humidité de 0,80. L'ochratoxine A est produite à toutes les températures de la gamme. Des quantités importantes de toxines peuvent être produites à une température aussi basse que 4°C et une humidité aussi faible que 0,86.

Le contact avec l'ochratoxine A (CIRC, 1993e) semble se produire essentiellement dans les régions tempérées de l'hémisphère nord où poussent le blé et l'orge. Les quantités d'ochratoxine A rapportées dans ces produits vont des traces à des concentrations de 6000 µg/kg dans le blé canadien. Au Royaume-Uni, les teneurs signalées vont de moins de 25 à 5 000 µg/kg pour l'orge et de moins de 25 à 2 700 µg/kg pour le blé. On la trouve aussi dans le maïs, le riz, les pois, les haricots, les doliques, le raisin et ses produits dérivés, le café, les épices, les fruits à coque et les figues.

Le passage de l'ochratoxine A de l'alimentation animale aux produits animaux a été démontré par la présence de cette toxine dans les produits à base de viande de porc et dans le sang de porc en Europe.

Bien que les grains de céréales soient considérés comme la principale source d'ochratoxine A dans l'alimentation humaine, l'idée a été émise (CIRC, 1993e) qu'elle pouvait aussi se trouver dans la viande de porc. On en a retrouvé dans le sang (et le lait) d'habitants de plusieurs pays européens parmi lesquels la France, l'Italie, l'Allemagne, le Danemark, la Suède, la Pologne, la Yougoslavie et la Bulgarie. L'un des taux les plus élevés que l'on ait mesurés était de 100 ng/ml retrouvés dans le sang en Yougoslavie (Fuchs *et al.*, 1991), tandis que l'on enregistrait, en Italie, un taux de 6,6 ng/ml dans le lait (Micco *et al.*, 1991).

Des mesures réglementaires concernant l'ochratoxine A ont été adoptées ou proposées dans au moins onze pays pour limiter les teneurs admises dans la nourriture, comprises entre 1 et 50 µg/kg, et dans les aliments du bétail, comprises entre 100 et 1000 µg/kg. Au Danemark, l'acceptabilité des produits à base de viande de porc issus d'une carcasse donnée dépend de l'analyse de la teneur en ochratoxine A présente dans le rein. La viande et certains organes du porc peuvent être consommés si la teneur en ochratoxine A du rognon n'est pas supérieure respectivement à 25 et 10 µg/kg (van Egmond, 1997).

Le Comité mixte d'experts de l'OMS et de la FAO sur les additifs alimentaires, le JECFA, recommande à titre provisoire de limiter l'absorption hebdomadaire d'ochratoxine A à 100 ng/kg de poids corporel, ce qui correspond à une absorption journalière d'environ 14 ng/kg de poids corporel (JECFA, 1996a).

L'ochratoxine A a été rattachée à la néphropathie endémique balkanique, maladie chronique mortelle des reins survenant dans des régions délimitées de Bulgarie, de l'ancienne Yougoslavie et de Roumanie. L'ochratoxine A provoque une toxicité rénale, une néphrite et une immunosuppression dans de nombreuses espèces animales, et montre des effets cancérogènes dans les expérimentations animales.

Les expérimentations sur les animaux ont suffisamment démontré le pouvoir carcinogène de l'ochratoxine A (CIRC, 1993e).

### **La patuline**

La patuline est un antibiotique produit par plusieurs moisissures. Elle apparaît dans les pommes pourries contaminées par *Penicillium expansum* et, peut donc être présente dans le jus de pomme et autres produits à base de pommes.

Les études expérimentales montrent que la patuline est une neurotoxine et qu'elle produit des altérations pathologiques sévères dans les viscères. Bien que, selon les rapports existants, elle induise

des sarcomes locaux, la plupart des études à court terme n'ont pas permis de déceler une activité mutagène.

Le JECFA a fixé provisoirement l'absorption journalière maximale à 400 ng/kg de poids corporel (JECFA, 1996b).

### La présence concomitante de mycotoxines

L'écologie complexe du développement des moisissures et de la production de mycotoxines peut aboutir à la présence de mélanges de mycotoxines dans la nourriture de l'homme et de l'animal, en particulier dans les céréales. La présence concomitante de mycotoxines peut influencer à la fois sur la quantité de mycotoxines produite et sur la toxicité de la matière contaminée (Miller, 1991). La production des aflatoxines dans les céréales pendant le stockage, par exemple, peut être accrue par la présence de trichothécènes, mais la toxicologie de combinaisons de mycotoxines présentes à l'état naturel serait, selon les expérimentations menées chez l'animal (Schiefer *et al.*, 1986), fonction d'interactions synergiques. Une étude chez le porc, par exemple, montre que l'effet du déoxynivalénol sur la prise de poids et la conversion des aliments est potentialisé par la toxine T-2. On a également rapporté (Dowd, 1989) des interactions avec des métabolites fongiques non toxiques, parmi lesquelles une puissante synergie entre les métabolites non toxiques de *F. graminearum* (culmorine, dihydroxycalonectrine et sambucinol) avec le déoxynivalénol. À ce jour, cet aspect particulièrement important de la mycotoxicologie reste trop largement méconnu.

### Mycotoxines d'importance régionale

Il existe plusieurs mycotoxicoses qui, sans être très largement répandues, présentent de l'importance pour la population susceptible d'être contaminée dans les régions où elles sévissent. Les mycotoxicoses entrant dans cette catégorie (tableau 2) sont associées à des moisissures se développant à la fois dans les cultures sur pied et dans le fourrage entreposé. Les moisissures et les mycotoxines en question sont associées à diverses maladies du bétail dont l'ergotisme, la tétanie due au paspalum, la tétanie due au ray-grass, l'eczéma facial, le pied de fêtuque, la lupinose, le syndrome de la bave et la stachybotryotoxicose (Lacey, 1991).

**Tableau 2** Moisissures et mycotoxines importantes à l'échelle régionale

Espèce de la moisissure	Mycotoxines produites	Mycotoxicose
<i>Claviceps purpurea</i>	Alcaloïdes de l'ergotamine	Ergotisme
<i>Claviceps fusiformis</i>	Alcaloïdes de la clavine	Ergotisme
<i>Claviceps paspali</i>	Paspalinine	Tétanie due au paspalum
<i>Acremonium loliae</i> *	Lolitre	Tétanie due au ray-grass
<i>Balansia</i> spp?	Alcaloïdes?	Pied de fêtuque
<i>Pithomyces chartarum</i>	Sporidesmine	Eczéma facial
<i>Phomopsis leptostromiformis</i>	Phomopsine	Lupinose
<i>Rhizoctonia leguminicola</i>	Slaframine	Syndrome de la bave
<i>Stachybotrys atra</i>	Satratoxines	Stachybotryotoxicose
<i>Diplodia maydis</i>	Diplodiatoxine	Diplodiose

La plupart des animaux d'élevage se nourrissent de fourrage, soit dans des pâturages, soit sous forme de foin ou d'ensilage. Pendant toute cette période, les cultures peuvent être envahies par des

moisissures dont le développement dépend de l'écosystème ambiant, de même que la production de champignons. Les cultures sur pied abritent des micromilieus différents. Les feuilles sommitales d'une plante, par exemple, sont soumises à des fluctuations extrêmes de température et d'humidité relative, tandis que les feuilles proches de la base de la plante ont un environnement plus ombragé, plus tempéré et plus humide. La texture de surface de la feuille a aussi un effet sur le micromilieu.

## **LE SYSTÈME SOCIO-ÉCONOMIQUE**

Le système socio-économique décrit les facteurs sociaux (culturels, politiques) et économiques (macro et micro-économiques) qui exercent une influence notable sur ce qui se passe dans le système mycotoxicologique et dont il faut tenir compte intégralement dans toute action visant à lutter contre le développement des moisissures et des mycotoxines. Dans certains cas, en raison de la complexité et du caractère imprévisible du comportement humain, il peut s'avérer très difficile d'intervenir avec succès dans le système socio-économique. Pourtant, les interventions techniques destinées à réduire l'altération n'ont de chances de réussir que si elles peuvent être aménagées et exploitées dans le cadre socio-économique existant. Chaque fois que des mesures sont prises pour améliorer la qualité des aliments destinés à l'homme et à l'animal, il faut qu'il soit clairement établi qu'il est vraiment nécessaire d'améliorer la qualité du produit et que la communauté est prête à supporter le coût de l'amélioration du produit.

## **LE SYSTÈME DE CONTRÔLE**

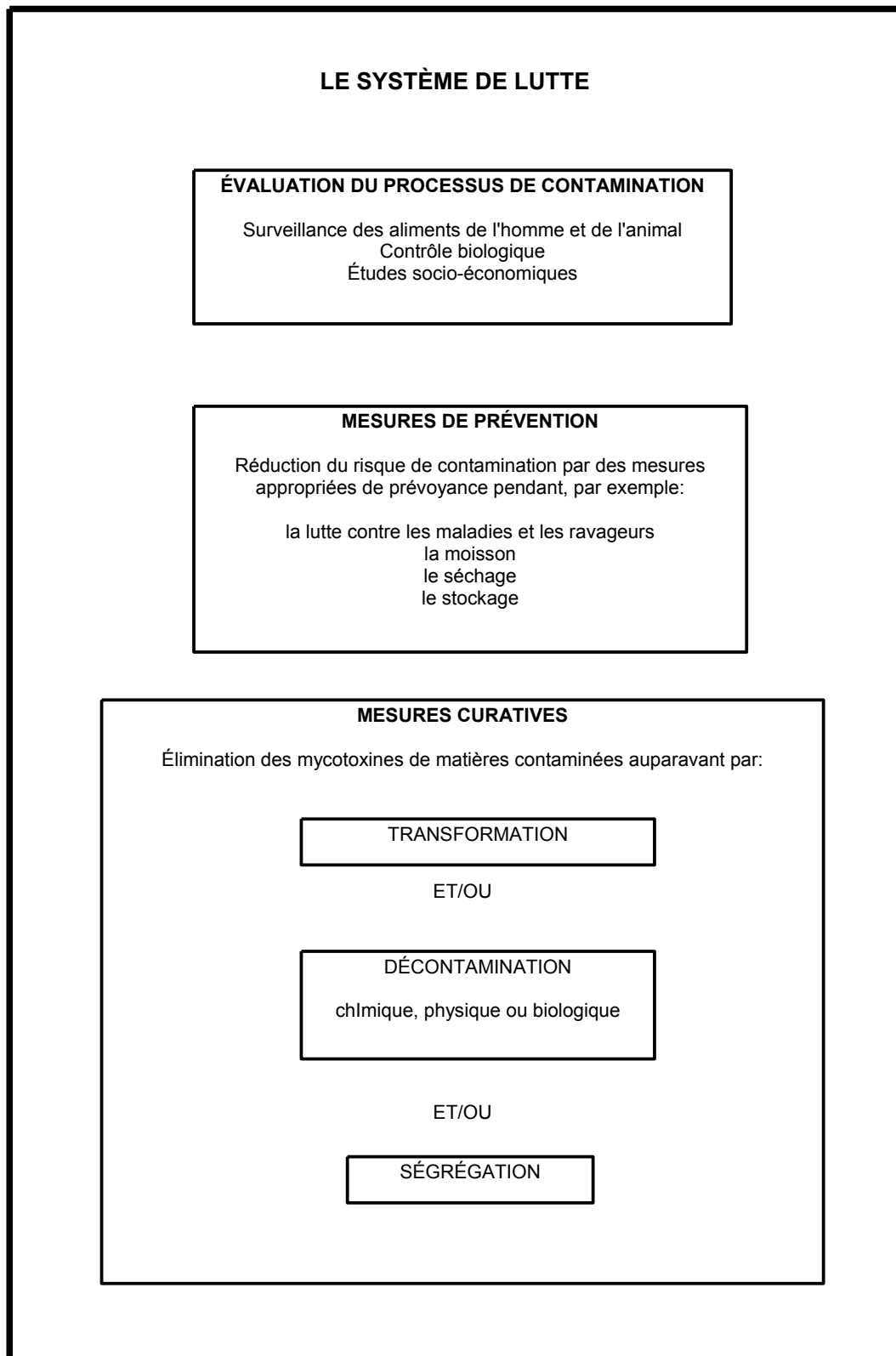
Pour réussir, la gestion de systèmes de produits en interaction (*'gestion de produits'*) nécessite l'intervention coordonnée d'une équipe interdisciplinaire qui permette de concrétiser tous les avantages que peut présenter la dynamique de l'équipe en exploitant pleinement les *interactions* entre les compétences, les disciplines et la culture de chacun des membres de l'équipe. L'équipe doit avoir les compétences nécessaires pour pouvoir opérer dans des systèmes de produits différents en repérant les facteurs qui compromettent la qualité des produits et en mettant en place les interventions appropriées.

Le système de contrôle (figure 6) présente, à titre d'exemple, quelques interventions (mesures) préventives et curatives qui peuvent être employées pour lutter contre les mycotoxines lorsque la nature de la contamination a été correctement évaluée.

Les facteurs qui compromettent la qualité des produits du système de produits et entraînent la formation de moisissures et de mycotoxines peuvent être évalués en réalisant des études de surveillance soigneusement conçues, en utilisant des méthodes de contrôle biologique de conception récente pour mesurer le risque de contamination des personnes par les mycotoxines et en réalisant des études socio-économiques portant sur divers points d'ordre social, commercial et financier (Coker, 1997). La présence de moisissures et de mycotoxines peut être atténuée par diverses mesures de prévention appliquées avant et après la moisson, telles que des mesures appropriées de lutte contre les ravageurs et les maladies et des pratiques saines de moissonnage, de séchage et de stockage. Une fois que la contamination par les mycotoxines s'est opérée, elle peut être atténuée par diverses mesures à mettre en oeuvre principalement après la récolte et comprenant une transformation, une décontamination et une ségrégation (Coker, 1997; FAO, 1999).

Dans la lutte contre les mycotoxines, l'approche doit être structurée et systématique, être axée sur la nécessité de prévenir et reconnaître les interactions intimes qui lient d'un bout à l'autre les systèmes de produits aux autres systèmes.

Figure 6 - Le système de lutte

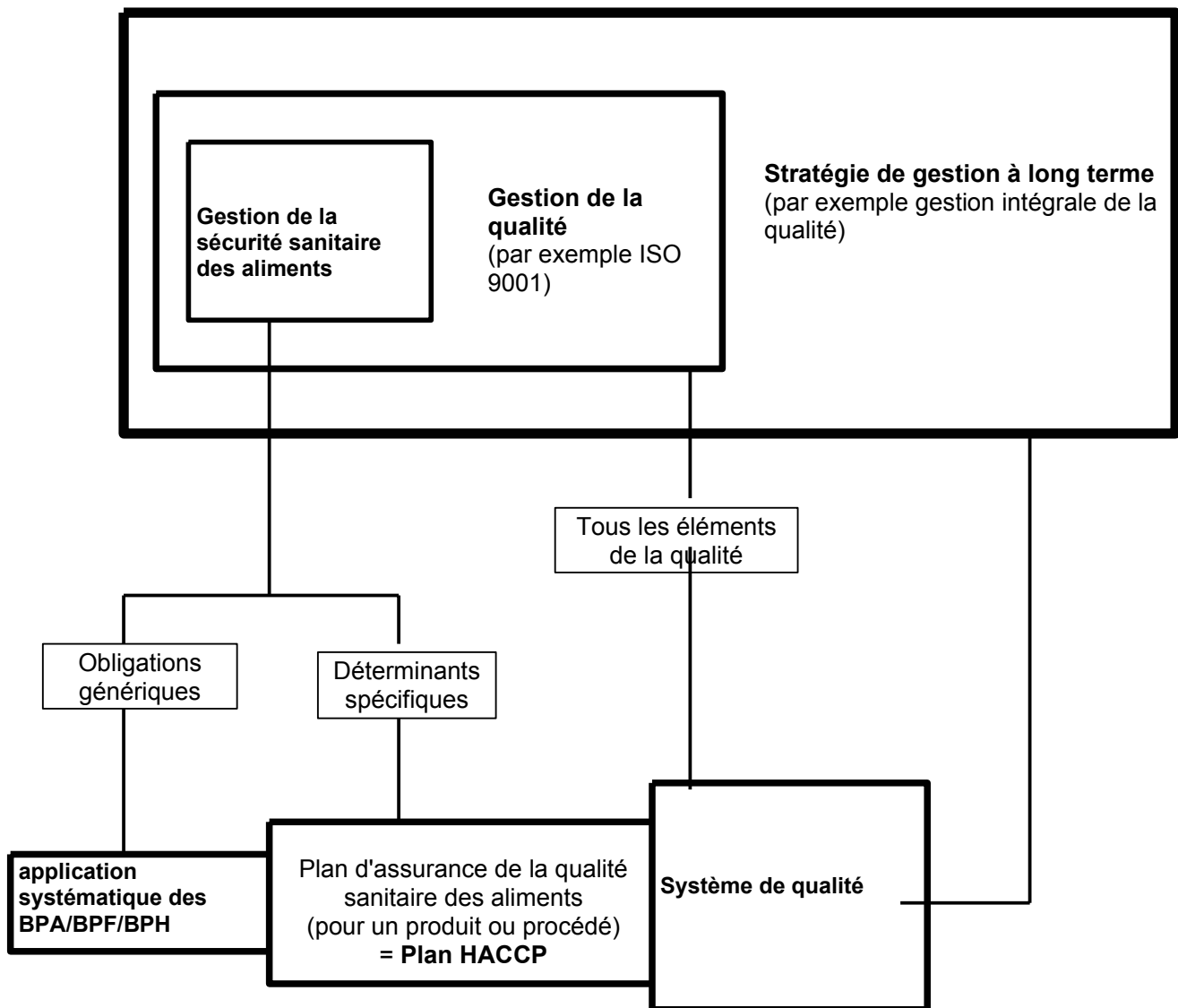




## INTÉGRATION DES SYSTÈMES

L'analyse des risques et les points critiques pour leur maîtrise (HACCP) est un système de gestion de la sécurité sanitaire des aliments qui repose sur l'identification et l'évaluation systématiques des risques dans les aliments et définit des moyens pour maîtriser ces risques. Il s'agit d'un élément important d'une approche intégrée de la sécurité sanitaire des aliments. Les relations entre le système HACCP et les autres instruments utilisés pour la sécurité sanitaire des aliments sont illustrées dans la figure 7.

Figure 7 - Instruments pour la sécurité sanitaire des produits: une approche intégrée



D'après Food Safety Management Tools (Jouve, 1998).

Les chapitres 2 et 3 décrivent la mise en place du système HACCP comme moyen d'effectuer un contrôle systématique des mycotoxines et se terminent par des études de cas portant sur la maîtrise de problèmes particuliers de mycotoxines.

## BIBLIOGRAPHIE

Austwick, P K C (1978) Mycotoxicoses in Poultry. pp 279-301. In: *Mycotoxic Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicoses: An Encyclopedic Handbook. Volume 2: Mycotoxicoses of Domestic and Laboratory Animals, Poultry, and Aquatic Invertebrates and Vertebrates*. Wyllie, T D and Morehouse, L G (eds). Marcel Dekker, Inc, New York, US.

Beardall, J M and Miller, J D (1994) Diseases in humans with mycotoxins as possible causes. pp 487-539. In: *Mycotoxins in Grain: Compounds other than Aflatoxin*. Miller, J D and Trenholm, H L (eds). Eagan Press. St. Paul, Minnesota, US.

Bhat, R V, Beedu, S R, Ramakrishna, Y and Munshi, K L (1989) Outbreak of trichothecene mycotoxicosis associated with consumption of mould-damaged wheat products in Kashmir Valley, India. *Lancet* **I**, 35-37.

Bove, F J (1970) The story of ergot. Kager Verlag, Basel, New York.

Bradburn, N, Coker, R D. and Blunden, G (1994). The Aetiology of Turkey X Disease. *Phytochemistry* **35**(3), 817.

Coker, R D (1997). Mycotoxins and their control: constraints and opportunities. NRI Bulletin 73. Chatham, UK: Natural Resources Institute.

Dowd, P F, Miller, J D and Greenhalgh, R (1989) Toxicity and some interactions of some *Fusarium graminearum* metabolites to caterpillars. *Mycologia*, **81**, 646-650.

Fuchs, R, Radic, B, Ceovic, S, Sostaric, B and Hult, K (1991). Human exposure to ochratoxin A. In *Mycotoxins, Endemic nephropathy and Urinary Tract Tumours*. Castegnaro, M, Plestina, R, Dirheimer, G, Chernozemsky, I N and Bartsch, H (eds). IARC Publications No. 115, Lyon, France, IARC, pp 131-134.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993a) Aflatoxins. pp 245-395. In: *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 56*. IARC, Lyon, France.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993b) Toxins derived from *Fusarium sporotrichioides*: T-2 toxin. pp 467-488. In: *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 56*. IARC, Lyon, France.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993c) Toxins derived from *Fusarium graminearum*: zearalenone, deoxynivalenol, nivalenol and fusarenone X. pp 397-444. In: *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 56*. IARC, Lyon, France.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993d) Toxins derived from *Fusarium moniliforme*. Fumonisin B<sub>1</sub> and B<sub>2</sub> and Fusarin C. pp 445-466. In: *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 56*. IARC, Lyon, France.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993e) Ochratoxin A. pp 489-521. In: *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 56*. IARC, Lyon, France.

International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF) (1996) Toxicogenic Fungi: Aspergillus. pp 347-381. In: *Micro-organisms in Foods. 5: Microbiological Specifications of Food Pathogens*. Roberts, T A, Baird-Parker, A C and Tompkin, R B (eds). Blackie Academic & Professional, London, UK.

*ibid.* Toxicogenic Fungi: Fusarium. pp 382-396.

*ibid.* Toxicogenic Fungi: Penicillium. pp 397-413.

JECFA (1996a). Ochratoxin A: A safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additive Series, 35, pp 363-376.

JECFA (1996b). Patulin. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additive Series, 35, pp 377-402.

Jouve, J L, Stringer, M F, Baird-Parker, A C. (1998) Food safety management tools, International Life Sciences Institute, Report under the responsibility of ILSI Europe risk analysis in microbiology task force, p10.

Krishnamachari, K A V, Bhat, R V, Nagarajan, V and Tilak, T B G (1975) Hepatitis due to aflatoxicosis. An outbreak in western India. *Lancet* **i**, 1061-1063.

Lacey, J (1991) Natural occurrence of mycotoxins in growing and conserved forage crops. pp 363-397. In: *Mycotoxins and Animal Foods*. Smith, J E and Henderson, R S (eds). CRC Press, London, UK.

Lopez-Garcia, R, Park, D L and Phillips, T D (1999). Integrated mycotoxin management systems. In *Preventing Mycotoxin Contamination*, FAO Food and Nutrition Division, FNA/ANA 23, pp 38-47.

Lubulwa, A S G and Davis, J S (1994) Estimating the social costs of the impacts of fungi and aflatoxins in maize and peanuts. pp 1017-1042. In: *Stored Product Protection. Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection*. Highley, E, Wright, E J, Banks, H J and Champ, B R (eds). CAB International, Wallingford, UK.

Luo, Y (1988) Fusarium toxins contamination of cereals in China. pp 97-98. In: *Proceedings of the 7th International IUPAC Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins, Tokyo, August 1988*. Aibara, K, Kumagai, S, Ohtsubo, K and Yoshizawa, T (eds). Japanese Association of Mycotoxicology, Tokyo.

Marasas, W F O, Nelson, P E and Toussoun, T A (1984) Toxicogenic Fusarium species. University Park, PA, Pennsylvania State University Press.

Mayer, C F (1953) Endemic panmyelotoxicoses in the Russian grain belt. Part One: The clinical aspects of alimentary toxic aleukia (ATA), a comprehensive review. *Mil. Serg.* 113: 173-189.

Micco, C, Ambruzzi, M A, Miraglia, M, Brera, C, Onori, R and Benelli, L (1991) Contamination of human milk with ochratoxin A. pp 105-108. In: *Mycotoxins, Endemic Nephropathy and Urinary Tract Tumours*. Castegnaro, M, Plestina R, Dirheimer, G, Chernozemsky, I N and Bartsch, H (eds). IARC Scientific Publications No. 115. IARC, Lyon, France.

Miller, J D (1991) Significance of grain mycotoxins for health and nutrition. pp 126-135. In: *Fungi and Mycotoxins in Stored Products*. Champ, B R, Highley, E, Hocking, A D and Pitt, J I (eds). ACIAR Proceedings No. 36. Canberra, Australia.

Miller, J D (1994) Conference Report: 6th International Working Conference on Stored-product Protection. *Australian Mycotoxin Newsletter* **5**(2), pages 1 and 8.

NTP (National Toxicology Program) Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Fumonisin B<sub>1</sub> (CAS No. 116355-83-0) in F344/N Rats and B6C3F<sub>1</sub> Mice. NTP TR 496. NIH Publication No. 99-3955.

Open University Business School (1987) Systems concepts and an intervention strategy. Block 3. In: *Planning and Managing Change*. The Open University. Milton Keynes, UK.

Pettersson, H, Holmberg, T, Larsson, K and Kaspersson, A (1989). Aflatoxins in acid-treated grain in Sweden and occurrence of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **48**, 411-420.

Pitt, J I and Miscamble, B F (1995) Water relations of *Aspergillus flavus* and closely related species. *Journal of Food Protection*, **58**, 86-90.

Pitt, J I (1996) What are mycotoxins? *Australian Mycotoxin Newsletter*. **7**(4), page 1.

Rheeder, J P, Marasas, W F O, Thiel, P G, Sydenham, E W, Shephard, G S and van Schalkwyk, D J (1992) *Fusarium moniliforme* and fumonisins in corn in relation to human esophageal cancer in Transkei. *Phytopathology*, **82**, 353-357.

Schiefer, H B, Hancock, D S and Bhatti, A R (1986) Systemic effects of topically applied trichothecenes. I. Comparative study of various trichothecenes in mice. *Journal of Veterinary Medicine*, **33A**, 373-383. Bhavanishankar, T N, Ramesh, H P and Shantha, T (1988) Dermal toxicity of *Fusarium* toxins in combinations. *Archives of Toxicology*, **61**, 241-244.

Udagawa, S (1988) Mycotoxicoses - the present problems and prevention of mycotoxins. *Asian Medical Journal* **31**, 599 - 604.

van Egmond, H O & Dekker, W H (1997). Worldwide regulations for mycotoxins in 1995 – A compendium. *FAO Food and Nutrition Paper 64*, FAO, Rome, Italy.

## APERÇU DE L'ANALYSE DES RISQUES ET DES POINTS CRITIQUES POUR LEUR MAÎTRISE

**Mieux vaut prévenir que guérir**

### INTRODUCTION

Le système d'analyse des risques et des points critiques pour leur maîtrise a été créé pour assurer la sécurité microbiologique dans les premiers temps du programme spatial américain de vols habités afin de garantir la sécurité alimentaire des cosmonautes. Jusque là, la plupart des systèmes de contrôle de la salubrité alimentaire étaient fondés sur le contrôle du produit final et ne pouvaient garantir intégralement la salubrité car il était impossible de contrôler absolument tous les produits. Il fallait un système basé sur l'anticipation, axé sur le procédé, et c'est ainsi que le système HACCP a vu le jour.

Le système initial a été conçu par la Société Pilsbury, qui travaillait avec la NASA et les laboratoires de l'armée américaine à Natick. Il était inspiré du système d'analyse des pannes, de leur mode et de leurs effets (FMEA, failure, mode and effect analysis), utilisé en ingénierie, qui étudiait tout ce qui risquait de ne pas fonctionner correctement à chaque étape, quelles pouvaient être les causes possibles de panne et leurs effets probables avant d'appliquer effectivement des mécanismes de contrôle.

Le système HACCP est un système permettant de définir, d'évaluer et de maîtriser les dangers importants pour la sécurité sanitaire des aliments. Il s'agit d'une méthode structurée et systématique de maîtrise de la sécurité sanitaire dans tout le système des produits, du champ à la table. Il requiert une bonne connaissance des liens de causalité pour être plus efficace, et constitue un élément indispensable pour une maîtrise totale de la qualité. Il s'appuie sur les principes de systèmes de gestion de la qualité bien établis tels que les bonnes pratiques de fabrication (BPF), les bonnes pratiques d'hygiène (BPH), les bonnes pratiques agricoles (BPA) et les bonnes pratiques de stockage (BPS). Il est appliqué avec succès aux États-Unis pour contrôler la qualité et la sécurité sanitaire des produits en conserve faiblement acides, et a été retenu par de nombreuses sociétés alimentaires d'Europe et des États-Unis. Les organismes chargés de la réglementation sont de plus en plus nombreux à reconnaître l'utilité de cet outil et ses principes ont été repris dans les obligations légales à la fois par l'UE (dans les règles générales d'hygiène des denrées alimentaires (93/43/CEE), et par le Ministère fédéral de l'agriculture des États-Unis (CPR-123). Le Comité consultatif national sur les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires a émis des directives pour l'application du système HACCP comprenant des plans génériques et des arbres de décision en 1992, et la Commission du Codex alimentarius a adopté le système à sa vingtième session en 1993. Les systèmes HACCP peuvent s'intégrer dans d'autres systèmes d'assurance de qualité tels que ceux de la série ISO 9000 (figure 7).

Bien qu'il ait été conçu pour assurer la salubrité des aliments à la fois dans l'agriculture et dans les industries de transformation, c'est dans ce dernier secteur que le système HACCP a trouvé jusqu'ici ses applications les plus nombreuses. La raison en est avant tout qu'il est beaucoup plus facile d'appliquer un système HACCP dans une usine ayant une direction ou un "propriétaire" unique et où il est possible d'empêcher complètement, de supprimer ou de ramener à un niveau acceptable le risque pour la santé présenté par un aliment. Dans le système des produits, il existe souvent des "propriétaires" nombreux et disparates du produit au fur et à mesure que celui-ci passe du producteur au consommateur, et un contrôle complet du produit peut être impossible à réaliser. Le présent manuel traitera de ce sujet en s'inspirant le plus étroitement possible des Principes généraux d'hygiène alimentaire du Codex (1997), qui soulignent qu'il importe de s'appuyer solidement sur les codes BPF, BPA et BPH pour intégrer l'approche HACCP et mettre au point un système de gestion de la sécurité sanitaire des aliments qui soit convivial.

## **PROGRAMMES PRÉALABLES**

Les programmes préalables tels que les BPA, BPF et BPH doivent bien fonctionner dans un système de produits avant que le système HACCP ne soit appliqué. Si ces programmes ne fonctionnent pas correctement, la mise en place d'HACCP sera compliquée et aura pour résultat un système lourd et bureaucratique.

### **Bonne pratiques agricoles**

#### ***Production primaire***

La production de denrées alimentaires primaires devrait être gérée de telle manière que la nourriture soit sans danger et bonne pour la santé du consommateur. La production commence à la ferme, en mer ou sur un lac, ou même en forêt. Il est indispensable de suivre certaines règles de base. La terre servant à la culture ou à l'horticulture doit être propre à cet usage et ne doit pas avoir été auparavant contaminée par des métaux lourds, des produits chimiques industriels ou des déchets nocifs pour l'environnement. Les risques qui y sont liés passeraient dans la chaîne alimentaire et rendraient le produit impropre à la consommation. Les agriculteurs devraient contrôler la production pour éviter que la contamination des cultures, la prolifération de ravageurs ou les maladies des animaux et des végétaux ne compromettent la sécurité sanitaire des aliments. Il convient d'appliquer les bonnes pratiques agricoles (BPA) et, le cas échéant, les bonnes pratiques d'hygiène (BPH) pour s'assurer que le produit récolté ne présentera pas de danger pour la santé du consommateur.

Il convient de suivre les bonnes pratiques de stockage (BPS) lorsque le produit est entreposé sur l'exploitation. En plus des Textes de base sur l'hygiène alimentaire (CODEX), il existe quatre procédures ISO portant sur le stockage des céréales et des légumineuses (série ISO 6322). Les BPS devraient aussi être respectées pour le stockage d'un bout à l'autre du système de produit.

### **Bonnes pratiques de fabrication**

#### ***Conception de l'établissement et installations***

La structure et l'emplacement d'une installation de transformation doivent être étudiés en fonction de la nature des opérations et des risques qu'elles comportent.

- . Les locaux destinés à la transformation alimentaire doivent être conçus de manière à réduire autant que faire se peut les possibilités de contamination du produit de base ou fini.
- . La conception et la disposition des locaux doivent permettre l'entretien, le nettoyage et la désinfection du lieu pour limiter autant que possible la contamination d'origine atmosphérique.
- . Toutes les surfaces en contact avec les aliments doivent être dénuées de toxicité et faciles à entretenir et à nettoyer afin d'éviter toute contamination supplémentaire.
- . Des dispositifs appropriés doivent permettre de régler la température et l'humidité, lorsque c'est nécessaire.
- . Des mesures efficaces doivent être prises pour empêcher l'intrusion de ravageurs.

#### ***Contrôle du fonctionnement***

Des mesures efficaces de contrôle doivent être en place pour réduire le risque de contamination du produit de base ou des produits finis de manière à ce qu'ils soient sans danger et propres à l'usage.

- . Contrôles adaptés du temps, de la température ou de l'humidité
- . Emballages de qualité alimentaire
- . Approvisionnement en eau potable
- . Entretien du matériel.

#### ***Entretien et assainissement***

Des méthodes et des instructions de travail doivent permettre de démontrer que le niveau d'entretien d'un établissement est suffisant et que les pratiques de nettoyage, de gestion des déchets et de lutte

contre les ravageurs sont efficaces. Ensemble, ces opérations concourent à maîtriser les facteurs de risque susceptibles de contaminer les aliments.

### ***Hygiène personnelle***

Des mesures doivent être prévues pour que les opérateurs ne contaminent pas les aliments. L'objectif peut être atteint en maintenant un niveau approprié de propreté personnelle et en suivant les instructions d'hygiène personnelle.

### ***Transport***

La méthode de transport doit être telle que des mesures soient prises pour prévenir toute contamination ou détérioration du produit. Les produits de base ou finis qui doivent être transportés dans des conditions spécifiques doivent être traités de manière appropriée, par exemple être réfrigérés, congelés ou conservés à un degré d'humidité spécifique.

Les conteneurs et les véhicules utilisés pour le transport des denrées alimentaires doivent être maintenus en bon état et être d'entretien facile.

Les conteneurs utilisés pour les produits en vrac doivent être désignés et marqués comme étant réservés à un usage alimentaire.

### ***Formation***

Tout le personnel chargé de la manutention des aliments devrait recevoir une formation d'hygiène personnelle en même temps qu'une formation aux tâches qu'il effectue, d'un niveau correspondant à ses responsabilités. Le personnel manipulant des aliments devrait aussi être dirigé par du personnel formé.

Un programme de formation à l'intention du personnel chargé de la manutention des aliments est capital pour la réussite d'un système de gestion de la sécurité sanitaire des aliments.

### ***Renseignements sur le produit et vigilance des consommateurs***

Le produit final doit être accompagné d'informations suffisantes pour que le personnel intervenant à l'étape suivante de la filière du produit manipule, entrepose, traite, prépare le produit et l'expose pour la vente sans risque. Le consommateur pouvant être appelé à réaliser la dernière opération de contrôle, la cuisson de viande ou de poisson cru, il devrait disposer de tous les renseignements nécessaires pour effectuer cette opération de manière efficace.

Tous les lots de produits alimentaires devraient être faciles à identifier par un numéro de lot pour permettre de remonter la filière du produit en cas de nécessité.

## **PRINCIPES FONDAMENTAUX DU SYSTÈME HACCP**

Il existe sept activités discrètes nécessaires pour établir, mettre en oeuvre et maintenir un plan HACCP, appelés "les sept principes" dans la Directive du Codex (1997).

### ***PRINCIPE 1***

**Procéder à une analyse des dangers.**

Recenser les dangers et évaluer les risques qui leur sont associés à chaque étape du système de produit. Décrire les mesures de contrôle éventuelles.

### ***PRINCIPE 2***

**Déterminer les points critiques.**

Un point critique pour la maîtrise des risques est un stade auquel une surveillance peut être exercée et est essentielle pour prévenir ou éliminer un danger menaçant la salubrité de l'aliment ou le ramener à un niveau acceptable. La détermination du point critique peut être facilitée par l'application d'un arbre de décision tel que celui qui figure à l'annexe IV.

### ***PRINCIPE 3***

#### **Fixer les seuils critiques.**

Chaque mesure de contrôle associée à un point critique doit être assortie d'un seuil critique qui sépare les paramètres de contrôle acceptables de ceux qui ne le sont pas.

### ***PRINCIPE 4***

#### **Mettre en place un système de surveillance.**

La surveillance est une mesure ou une observation programmée à un point critique pour évaluer si l'étape est maîtrisée, c'est-à-dire si les seuils critiques spécifiés au principe 3 sont respectés.

### ***PRINCIPE 5***

#### **Établir la procédure à suivre pour les mesures correctives lorsque la surveillance à un point critique donné révèle un écart par rapport au seuil critique établi.**

### ***PRINCIPE 6***

#### **Établir des procédures de vérification afin de confirmer que le système HACCP fonctionne efficacement.**

De telles procédures comportent un contrôle du plan HACCP pour examiner les écarts et le sort des produits, et le prélèvement aléatoire d'échantillons à contrôler pour valider le plan dans son ensemble.

### ***PRINCIPE 7***

#### **Constituer un dossier dans lequel figureront toutes les procédures et tous les relevés concernant ces principes et leur mise en application.**

## **CRÉATION D'UN PLAN HACCP**

La création d'un plan HACCP requiert douze tâches conçues pour que les sept principes soient appliqués correctement. Pour le principe 1, selon lequel une analyse des risques doit être réalisée, il faut que les cinq premières tâches aient été accomplies de manière logique et honnête de sorte que tous les dangers associés au produit puissent être identifiés. Les douze tâches sont évoquées succinctement ci-après et énumérées à l'annexe II.

### ***TÂCHE 1 - Constituer une équipe HACCP***

Pour bien comprendre le système de produit et pouvoir identifier tous les dangers vraisemblables et les points critiques pour leur maîtrise, il importe que l'équipe HACCP soit constituée de personnes de disciplines très diverses. Elle devrait comprendre:

- un chef d'équipe chargé de constituer l'équipe et de diriger ses travaux en veillant à ce que le concept soit bien appliqué. La personne choisie doit être familiarisée avec la technique, savoir écouter et faire participer tous les acteurs.

- . Un spécialiste ayant des connaissances approfondies du système du produit. Il jouera un rôle de premier plan dans l'établissement des schémas du produit.



. Plusieurs spécialistes ayant chacun la connaissance de dangers particuliers et des risques associés, par exemple un microbiologiste, un chimiste, un mycotoxicologue, un responsable du contrôle de qualité, un ingénieur des méthodes.

. Des personnes telles que spécialistes du conditionnement, acheteurs de matières premières, personnel de distribution ou de production, agriculteurs ou courtiers, qui ont un rôle dans le processus et savent comment il fonctionne, peuvent être appelées temporairement dans l'équipe pour fournir les compétences requises.

. Les progrès de l'équipe et les résultats de l'analyse devraient être consignés par un secrétaire technique.

Si des modifications sont apportées à la composition ou aux procédures de fonctionnement, il faudra réévaluer le plan HACCP en fonction de ces modifications.

### ***TÂCHE 2 - Décrire le produit***

Une analyse des risques doit commencer par une description complète du produit, y compris des spécifications du produit final, établie à l'aide du formulaire donné en exemple à l'annexe III. La description doit comprendre des renseignements relatifs à la sécurité sanitaire tels que les teneurs limites légales ou autres en mycotoxines, la composition, les propriétés physico-chimiques des matières premières et du produit final, la quantité d'eau disponible pour le développement microbien ( $a_w$ ), la quantité d'acide ou de base du produit (pH). Des renseignements doivent aussi être donnés sur la manière dont le produit doit être conditionné, entreposé et transporté, ainsi que sur la durée de conservation et les températures de conservation recommandées. Le cas échéant, des informations sur l'étiquetage et un exemplaire d'étiquette y seront ajoutés. L'équipe HACCP sera ainsi mieux à même d'identifier les dangers "réels" liés au procédé.

### ***TÂCHE 3 - Définir l'usage auquel est destiné le produit***

La manière dont le produit doit être utilisé est un aspect dont il importe de tenir compte. Que le produit doive être consommé directement, être cuit ou subir une transformation ultérieure, tous ces renseignements présentent un intérêt pour l'analyse des risques (voir tâche 6). La nature du groupe auquel le produit s'adresse peut aussi avoir son importance, surtout dans le cas de groupes sensibles tels que les enfants en bas âge, les personnes âgées et les personnes souffrant de malnutrition. Il faut aussi envisager l'hypothèse où le produit serait utilisé à mauvais escient, par exemple si des aliments pour l'élevage étaient consommés par l'homme, soit par accident, soit délibérément. Cette information peut être consignée sur le formulaire de description du produit (voir annexe III).

### ***TÂCHE 4 - Établir le schéma du produit***

L'équipe doit tout d'abord établir un schéma détaillé du système du produit ou de la partie dont il est question. Les compétences du spécialiste du produit sont importantes à ce stade. Les systèmes de produit diffèrent dans leurs modalités selon les régions du monde, et peuvent même présenter plusieurs variantes dans un même pays. La transformation secondaire devra être détaillée par usine en n'utilisant les schémas génériques que comme modèles. On trouvera dans les études de cas présentées au chapitre 3 des exemples de schémas de produit.

### ***TÂCHE 5 - Vérifier sur place le schéma du produit***

Une fois établi le schéma du produit, des membres de l'équipe doivent se rendre sur place (par exemple sur l'exploitation, l'entrepôt ou la zone de fabrication) pour comparer les renseignements indiqués dans le schéma du produit à la situation telle qu'elle se présente effectivement. Cette procédure de parcours pas à pas, consiste à vérifier à chaque étape que tous les renseignements indiqués sur les matériaux, les pratiques, les contrôles, etc. ont été pris en considération par l'équipe

dans la préparation du schéma du produit. Le cas échéant, il faudra recueillir et ajouter au schéma du produit des renseignements tels que l'époque de moisson, les méthodes de séchage, les conditions de stockage, la filière commerciale, les facteurs socio-économiques, les systèmes de classement et les mesures d'incitation à l'amélioration de la qualité ou de la salubrité, et les systèmes de transformation. Le site pour lequel est établi le plan HACCP devrait être visité aussi souvent que possible pour permettre de recueillir toutes les informations pertinentes.

### ***TÂCHE 6 - Identifier et analyser les dangers (Principe 1)***

L'identification effective des dangers et l'analyse des risques constituent les pivots du plan HACCP. Tous les dangers réels ou potentiels susceptibles de se présenter dans chaque ingrédient et à chaque étape du système du produit doivent être pris en considération. Les risques pour la sécurité sanitaire ont été répertoriés dans trois grandes catégories pour les programmes HACCP:

Dangers biologiques: agents pathogènes habituellement véhiculés par la nourriture tels que *Salmonella*, *Listeria* et *E. coli*, ou encore virus, algues, parasites et champignons.

Dangers chimiques. On trouve trois grands types de toxines chimiques dans les aliments: les produits chimiques présents à l'état naturel tels que les cyanides dans certaines plantes racines ou les composés allergènes dans les arachides; les toxines produites par des micro-organismes telles que les mycotoxines ou par des algues; et les produits chimiques ajoutés par l'homme au produit pour lutter contre un problème connu, par exemple les fongicides ou les insecticides.

Dangers physiques: contaminants tels que bris de verre, fragments de métal, insectes ou pierres.

La probabilité qu'un danger se présente s'appelle le risque. Le risque peut avoir une valeur comprise entre zéro et un en fonction du degré de certitude que l'on a de l'absence du danger ou de sa présence. Une fois le danger identifié, une analyse doit être effectuée pour connaître le risque relatif qu'il présente pour la santé de l'homme ou de l'animal. C'est une manière d'organiser et d'analyser les données scientifiques disponibles sur la nature et l'importance du risque pour la santé lié au danger. Le risque peut devoir être évalué subjectivement et simplement jugé faible, moyen ou élevé. Seuls les dangers dont l'équipe HACCP estime qu'ils comportent un risque inacceptable d'être présents sont soumis à l'étape 7, principe 2.

Lorsqu'un danger pour la sécurité sanitaire d'un aliment a été identifié, des mesures appropriées doivent être envisagées, c'est-à-dire une action ou activité pouvant être mise en oeuvre pour maîtriser le danger repéré, afin qu'il soit écarté, supprimé ou ramené à un niveau acceptable. Il peut aussi s'agir d'une mesure de formation du personnel à une opération donnée relevant des BPA, BPF ou BPH.

### ***TÂCHE 7 - Déterminer les points critiques (Principe 2)***

Chaque étape du schéma de produit relevant de l'étude HACCP doit être examinée tour à tour pour déterminer la pertinence du danger reconnu. Il importe aussi de ne pas perdre de vue le champ d'application de l'analyse des risques à ce stade. L'équipe doit déterminer si le danger peut survenir à l'étape considérée et, dans l'affirmative, s'il existe des mesures pour le juguler. S'il est possible de maîtriser le risque de manière suffisante, qu'il n'est pas possible de mieux le faire à une autre étape, et qu'il est indispensable de le faire pour la sécurité sanitaire de l'aliment, cette étape constitue un point critique pour le danger spécifié. Un arbre de décision peut être utilisé pour déterminer les points critiques et un exemple de l'arbre de décision du Codex est inclus à l'annexe IV. Toutefois, le jugement de l'équipe HACCP, ses compétences et sa connaissance du procédé sont les principaux facteurs pour réussir à déterminer les points critiques.

Si l'on repère une étape où il existe un danger pour la sécurité sanitaire mais qu'aucune mesure ne peut être mise en place pour juguler ce danger dans une mesure suffisante à l'étape repérée ou à une étape ultérieure, le produit est impropre à la consommation humaine. Il faut mettre un terme à sa production jusqu'à ce que des mesures permettent de maîtriser le danger et qu'un point critique puisse être établi.

### ***TÂCHE 8 - Fixer des seuils critiques pour chaque point critique (Principe 3)***

Les seuils critiques doivent être fixés et validés pour chaque point critique. Les critères fréquemment utilisés sont la température, la durée, la teneur en eau, le pH, l'humidité et des paramètres sensoriels tels que l'aspect visuel. Dans le cas des mycotoxines, par exemple, il peut s'agir de la teneur en eau ou de la température du produit. Tous les seuils critiques et les tolérances dont ils sont assortis doivent être reportés sur la feuille de travail du plan HACCP et figurer avec les spécifications dans le mode opératoire et les consignes de travail.

### ***TÂCHE 9 - Mettre en place une procédure de surveillance (Principe 4)***

La surveillance est le mécanisme par lequel on vérifie que les seuils critiques sont respectés à chaque point critique. La méthode de surveillance choisie doit être sensible et donner un résultat rapidement afin que les opérateurs qualifiés soient en mesure de déceler toute perte de maîtrise à l'étape concernée. C'est une obligation impérative pour que des mesures correctives puissent être prises dès que possible de manière à éviter des pertes du produit ou à les réduire au minimum.

La surveillance peut se faire par observation ou par des mesures sur des échantillons prélevés conformément à un plan d'échantillonnage établi selon des critères statistiques. L'observation visuelle est élémentaire mais donne des résultats rapides et permet donc de réagir vite. Les mesures le plus couramment effectuées sont le temps, la température et la teneur en eau.

### ***TÂCHE 10 - Mettre en place des mesures correctives (Principe 5)***

Si la surveillance révèle que les seuils critiques ne sont pas respectés, et montre ainsi que le procédé n'est plus maîtrisé, des mesures correctives doivent être prises immédiatement. Une mesure corrective doit tenir compte du pire cas de figure possible, mais aussi s'appuyer sur l'évaluation du risque et de la gravité du danger, et sur l'utilisation finale du produit. Les opérateurs responsables de la surveillance des points critiques doivent avoir une bonne connaissance des mesures correctives et avoir reçu une formation complète sur la manière de les mettre en oeuvre.

Les mesures correctives doivent permettre de retrouver la maîtrise du procédé au point critique. Elles doivent par ailleurs prévoir comment ce qu'il faut faire du produit abîmé. Chaque fois que possible, un système d'alarme devrait être mis en place. Il se déclencherait lorsque la surveillance indique que l'on s'approche du seuil critique. Une mesure corrective peut alors être appliquée avant l'apparition d'un écart pour éviter de devoir jeter du produit.

### ***TÂCHE 11 - Vérifier le plan HACCP (Principe 6)***

Lorsque le plan HACCP a été établi et que tous les points critiques ont été validés, il faut vérifier le plan dans sa totalité. Lorsque le plan HACCP fonctionne de manière régulière, il doit être vérifié et révisé à intervalles réguliers. Cette tâche incombe à la personne chargée de la composante spécifique du système de produit. On peut alors déterminer si les points critiques et les mesures de maîtrise du procédé sont appropriés et vérifier le champ et l'efficacité de la surveillance. On peut avoir recours à des contrôles microbiologiques ou chimiques pour vérifier que le plan fonctionne et que le produit correspond aux spécifications. Un plan officiel d'audit interne du système témoignera de la volonté de tenir le plan HACCP à jour, tout en constituant une vérification indispensable.

Les moyens de vérifier le système peuvent consister à :

- . recueillir des échantillons pour une analyse en suivant une méthode autre que la procédure de surveillance;
- . interroger le personnel, en particulier celui chargé de surveiller les points critiques;
- . observer les opérations aux points critiques;
- . faire effectuer un audit formel par un expert indépendant.

Il importe de savoir que le système HACCP est créé pour une formulation particulière d'un produit manipulé et traité d'une manière donnée.

### ***TÂCHE 12 - Tenir des documents de bord (Principe 7)***

La tenue de documents de bord fait partie intégrante du procédé HACCP. Elle montre que les procédures ont été suivies du début à la fin du procédé, ce qui constitue la traçabilité du produit. Les documents apportent la preuve que les seuils critiques fixés ont été respectés, et ils peuvent être utilisés pour rechercher l'origine d'un problème. De plus, les documents peuvent être utilisés par une société pour prouver que l'obligation de moyens qu'impose, par exemple, la Loi du Royaume-Uni sur la sécurité sanitaire des aliments (1990), a été respectée.

Les documents de bord doivent porter sur tous les procédés et procédures liés aux BPF, aux BPH, à la surveillance des points critiques, aux écarts et aux mesures correctives.

La documentation doit par ailleurs comprendre les dossiers dans lesquels ont été consignés les résultats de l'étude HACCP initiale, par exemple l'identification des dangers et le choix des seuils critiques, mais elle doit essentiellement être constituée des fiches de surveillance aux points critiques et des mesures correctives appliquées. L'enregistrement des données peut être effectué de multiples façons, de la simple liste de vérification aux fiches ou graphiques de résultats. Les documents de bord manuels ou informatiques se valent, mais il importe que la méthode suivie soit adaptée à la taille et à la nature de l'entreprise. On trouvera à l'annexe III un modèle de formulaire de renseignements sur la description du produit et son utilisation prévue, et à l'annexe V un modèle de feuille de travail pour le plan HACCP. Les études de cas présentées dans le chapitre 3 donnent des exemples de l'utilisation de ces formulaires.

## **APPLICATION DU SYSTÈME HACCP À LA LUTTE CONTRE LES MYCOTOXINES**

Une fois accomplies les tâches 1 à 5, on aura mis en place une équipe HACCP, un tableau de description du produit et de son utilisation prévue et un schéma du produit vérifié. Ces éléments renseignent sur un produit spécifique provenant d'une source unique et sont nécessaires pour réaliser l'analyse des risques. Voir les exemples d'application des étapes 1 à 5 donnés dans les études de cas du chapitre 3.

### ***Tâche 6 - Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et définition des mesures permettant de les maîtriser***

#### **Analyse des risques de contamination par les mycotoxines**

##### **a) Identification des risques**

Pour chaque système de produit et chaque site, l'équipe HACCP doit d'abord étudier si les mycotoxines dont on sait qu'elles constituent un danger pour la santé sont susceptibles d'être présentes et, dans l'affirmative, lesquelles.

On connaît plus de 300 mycotoxines, mais il est généralement admis que seul un nombre relativement faible d'entre elles présentent un risque notable pour la sécurité de l'alimentation humaine ou animale. Ces mycotoxines dangereuses sont énumérées aux tableaux 1 et 2 du chapitre premier. Parmi celles-ci, les seules mycotoxines pour lesquelles des limites aient été fixées par la réglementation d'un ou de plusieurs pays sont les aflatoxines (dont l'aflatoxine M1), l'ochratoxine A, la zéaralénone, la patuline, les alcaloïdes de l'ergot et le déoxynivalénol. Des limites ont été fixées à titre indicatif pour la fumonisine B1 et il est probable qu'elles deviendront obligatoires dans un avenir proche. Les limites fixées par la réglementation sont utilisées comme teneurs limites et doivent être consignées dans le

formulaire de description du produit. Les limites de mycotoxines peuvent aussi être fixées par le client dans des contrats d'espèce et inclure des mycotoxines ne faisant pas l'objet de limites réglementaires.

Le risque de contamination par une mycotoxine doit être estimé à l'aide de données bien établies sur la sensibilité relative du produit à telle ou telle mycotoxine et les conditions climatiques nécessaires au développement de celle-ci. L'UE a établi comme particulièrement prédisposés à une contamination par les aflatoxines les aliments pour l'élevage et produits dérivés suivants: maïs, tourteau d'arachides, tourteau de graines de coton, babassu, tourteau de palmiste et tourteau de coprah. Selon l'UE encore, seraient particulièrement prédisposés à une contamination par les aflatoxines les produits alimentaires suivants: figes sèches et autres fruits secs, arachides, pistaches et autres fruits à écale et céréales comestibles. Ces produits sont énumérés dans le règlement CE n° 1525/98 modifiant le règlement n° 194/97. Le maïs cultivé dans les climats tempérés serait moins sujet à la contamination par les aflatoxines, mais pourrait être contaminé par les mycotoxines des trichothécènes ou la fumonisine B1. Bien que l'on dispose de résultats d'études publiées sur de nombreux produits, il importe que des études de surveillance soient réalisées s'il n'existe pas de données sur un produit particulier ou sur la production dans une zone climatique déterminée.

#### **b) Détermination des étapes du schéma de produit auxquelles une contamination par des mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

Lorsque le danger de contamination par une mycotoxine a été identifié, il faut étudier les étapes du schéma de produit l'une après l'autre pour estimer quelle est la probabilité d'une contamination par des mycotoxines. Normalement, il est possible de s'aider des données scientifiques publiées, mais il peut s'avérer nécessaire de faire réaliser une étude pour déterminer quelles doivent être les étapes ou pour confirmer que le choix a été fait correctement. La situation pouvant varier d'une année à l'autre, et d'une saison à une autre, le plan HACCP devra prévoir un élément de surveillance des mycotoxines.

Il sera important d'établir si une contamination par les mycotoxines avant la récolte est possible ou si la contamination intervient essentiellement après la récolte. Les mycotoxines produites par *Fusarium spp.*, par exemple la fumonisine B1, sont invariablement produites après récolte, mais les conditions climatiques influent sur le degré de pourrissement et de contamination qui en résulte. Les aflatoxines se développent aussi bien avant qu'après la récolte et les conditions climatiques peuvent avoir une influence sensible: le stress provoqué par la sécheresse favorise la contamination avant la récolte, mais les opérations après récolte effectuées à la saison des pluies sont favorables au développement des aflatoxines après récolte.

Il est rare que l'on puisse savoir avec certitude si les quantités de mycotoxines présentes avant la récolte sont inférieures aux valeurs réglementaires dans le système du produit, de sorte que des mesures de lutte contre les mycotoxines après la récolte ne peuvent souvent qu'empêcher ou réduire une contamination SUPPLÉMENTAIRE, plutôt qu'elles ne peuvent l'enrayer complètement. Par conséquent, il est souvent nécessaire d'ajouter une étape de ségrégation pour retirer tous les lots contenant une quantité inacceptable de mycotoxines.

#### **c) Mesures à envisager pour lutter contre les mycotoxines**

Les mesures les plus efficaces pour lutter contre les mycotoxines consistent à sécher le produit de sorte que le dégagement de vapeur ( $a_w$ ) soit trop faible pour permettre le développement de moisissures et/ou empêche la production de mycotoxines. Afin d'empêcher le développement de la plupart des moisissures, le facteur  $a_w$  doit être inférieur ou égal à 0,70, ce qui correspond à une teneur en eau d'environ 14 % pour le maïs et 7,0 % pour les arachides à une température de 20°C (la teneur en eau correspondante diminue à mesure que la température augmente). À chaque moisissure toxigène correspond un degré spécifique de dégagement de vapeur qui favorise son développement et la production de mycotoxines et qui peut se traduire en teneur en eau de chaque produit. Ces teneurs en eau, dites "teneurs limites", constitueraient le seuil critique de la mesure.

Il importe de spécifier la teneur limite en eau en indiquant une valeur maximale et une valeur moyenne, ce qui donnerait, par exemple, "14 pour cent, aucune partie ne dépassant 15 pour cent". Si seule la valeur moyenne est indiquée, elle peut dissimuler un large éventail de teneurs en eau au sein d'un même lot, de sorte que le produit ne serait pas à l'abri d'un développement de moisissure et d'une contamination par des mycotoxines. Le procédé de séchage doit permettre un séchage uniforme et les seuils critiques doivent être fixés en tenant compte de cet aspect. La validation du point critique doit comporter le dosage de la teneur en eau sur de multiples prélèvements.

Si le produit a une teneur en eau qui dépasse la teneur limite pendant plus de 48 heures, il peut y avoir développement d'une moisissure et production de mycotoxines. Limiter à moins de 48 heures le temps pendant lequel le produit a une teneur en eau supérieure à la teneur limite constitue donc une mesure de lutte contre les mycotoxines. C'est ce qui explique que le séchage immédiat au soleil puisse parfois être plus sûr que le séchage mécanique différé. Étalaé sur une aire de séchage pendant deux jours et retourné de temps en temps, le produit peut souvent atteindre la teneur limite en eau, alors que l'attente au séchoir mécanique peut conduire au dépassement du seuil critique de 48 heures.

Une fois les mycotoxines produites, il n'est normalement pas possible de les éliminer si ce n'est par des techniques de séparation physique (tri). Pour appliquer ce type de mesure, il faut recueillir des échantillons représentatifs dans des lots du produit et rechercher la présence de mycotoxines données. Seuls les lots contenant moins que le seuil critique de mycotoxines fixé par la réglementation officielle sont acceptés. Pour certains produits, tels que les arachides blanchies, des indicateurs colorés peuvent être utiles pour rejeter les arachides contenant de fortes quantités d'aflatoxines et recueillir celles qui en contiennent peu, et peuvent donc être rangés dans la panoplie de lutte contre les mycotoxines.

Il existe quelques cas où la décontamination chimique est possible, tels que le traitement à l'ammoniac de certains ingrédients d'aliments pour l'élevage et le raffinage des huiles végétales. Il s'agit de mesures qui se prêteraient aussi à être mises en oeuvre à un point critique pour l'aflatoxine, mais uniquement pour des produits déterminés.

Il est indispensable d'appliquer les conditions préalables des BPA, BPS et BPF, et ne serait-ce que veiller à ce que ce soit le cas suffit à réduire sensiblement le risque de contamination par les mycotoxines. Parmi les mesures qui relèvent de ces conditions préalables, on peut citer l'irrigation, la lutte contre les insectes, l'emploi de variétés résistantes et l'emploi de palettes pour l'entreposage.

### ***Tâche 7 - Déterminer les points critiques***

Pour compléter éventuellement les connaissances et l'expérience de l'équipe HACCP, un arbre de décision bien conçu peut, au besoin, aider à déterminer les points critiques (voir l'annexe IV). Toutes les étapes du schéma de produit sont examinées tour à tour et il convient de répondre aux questions dans l'ordre. On notera que la réponse à la première question (Existe-t-il des mesures de prévention?) doit être affirmative pour que l'on puisse établir un point critique. Le Codex de 1997 définit les mesures d'intervention (mesures de maîtrise) comme toute intervention ou activité à laquelle on peut avoir recours pour prévenir ou éliminer un danger qui menace la sécurité de l'aliment ou pour le ramener à un niveau acceptable.

Dans certains systèmes de produit, tels que la production de jus de pomme (étude de cas n°5), des interventions peuvent être envisagées à plusieurs étapes, chacune permettant d'obtenir un pourcentage connu de réduction du taux de mycotoxines. Il est donc possible de calculer le taux admissible de patuline à chaque étape et de valider. Si le risque d'un dépassement du taux admissible de mycotoxine est suffisamment faible, l'équipe HACCP peut décider que chacune des étapes constitue un point critique.

### ***Tâche 8 - Fixer des seuils critiques pour chaque point critique***

Lorsque, à la suite d'une recherche de mycotoxine, la mesure à appliquer est la ségrégation, le seuil critique est souvent fixé à la valeur admissible qui, elle, doit correspondre ou être inférieure à la limite fixée par la réglementation. Les taux admissibles et tous les seuils critiques qui leur sont associés peuvent parfois être fixés à une valeur supérieure à celle de la réglementation à condition que l'on puisse garantir qu'à l'étape suivante le niveau admissible de danger de contamination ne sera pas dépassé.

Pour les interventions qui comportent un séchage jusqu'à obtention d'une teneur limite en eau, les paramètres à mesurer et pour lesquels des seuils critiques doivent être fixés sont généralement la température du séchoir et la durée du passage. Pour un séchoir à flux continu, par exemple, le seuil critique de température pourrait être de 80°C +/- 2°C et le seuil critique pour la durée du passage pourrait être de 20 +/- 1 minutes.

Les seuils critiques pour la décontamination chimique pourraient être la température et la pression dans le récipient de réaction et la durée du passage.

#### ***Tâche 9 - Mettre en place un système de surveillance à chaque point critique***

Le système de surveillance doit consister à mesurer, à intervalles programmés, généralement un paramètre fondamental tel que la température ou la durée, pour déceler tout écart par rapport aux seuils critiques.

Lorsqu'il est nécessaire de séparer les lots acceptables de ceux qui ne le sont pas dans le système agricole, par exemple chez un négociant secondaire, il faut pouvoir appliquer des procédures d'essai rapide pour pouvoir contrôler les lots à leur arrivée.

Il existe diverses trousse d'essai qui permettent de réaliser rapidement des essais semi-quantitatifs par immuno-affinité et qui peuvent se régler sur la valeur limite de mycotoxine recherchée, par exemple 5 ou 20 µg/kg. Dans ce cas, le seuil critique serait normalement la présence ou l'absence d'un dérivé coloré. Les techniques plus classiques de mini colonne et de CCM, fonctionnant par dilution jusqu'à disparition, peuvent toujours être utiles pour séparer les lots à la sortie d'usine. Pour ces méthodes, le seuil critique sera la présence ou l'absence d'une bande ou d'une tache bleu fluorescent.

#### ***Tâche 10 - Mettre en place des mesures correctives***

Les mesures correctives sont de deux sortes. La première vise à reprendre la maîtrise du procédé. Si, par exemple, le seuil critique d'une teneur en eau n'est pas atteint, la mesure corrective pourrait consister à vérifier la spécification du séchoir et à effectuer des réparations, ou à augmenter le réglage thermostatique ou la durée de séchage. La deuxième sorte consiste à isoler le produit obtenu pendant la perte de maîtrise au point critique et à modifier le sort réservé au produit, soit en le jetant ou en le déclassant, soit en le retraitant si le cas s'y prête.

#### ***Tâche 11 - Mettre en place des procédures de vérification***

Il convient de vérifier l'ensemble du plan HACCP à intervalles réguliers et définis en contrôlant que les quantités de mycotoxines présentes dans le produit final restent dans les limites acceptables. S'il s'avère que tel n'est pas le cas, il faut immédiatement rechercher la cause du problème en trouvant l'étape à laquelle le danger n'était plus maîtrisé. Il peut être nécessaire de modifier les seuils critiques ou de valider et de mettre en place une nouvelle mesure d'intervention. De même, si l'examen des écarts et des rejets de produit signale une insuffisance inacceptable de maîtrise à un point critique donné, il faudra opérer des rectifications.

#### ***Tâche 12 - Constituer un dossier et tenir un journal de bord***

Le dossier et la tenue d'un journal de bord prévus dans le système général HACCP sont appropriés, mais les documents de bord devraient refléter la complexité des étapes du système de produit.

## **CONCLUSIONS**

1. Le système HACCP est un instrument puissant lorsqu'il est appliqué à la maîtrise des mycotoxines dans le système du produit.
2. Réaliser une étude HACCP permet de canaliser l'attention de tout le personnel concerné par le produit sur les détails du processus et ainsi de mieux le familiariser aux questions de sécurité.
3. La mise en oeuvre d'un système HACCP n'est pas une fin en soi. C'est dans sa continuité que se trouve son intérêt.



## DÉFINITIONS

### . D'après Codex Alimentarius: Système HACCP et directives concernant son application; Appendice au CAC/RCP 1-1969, Rév. 3 (1997)

**Maîtriser:** Prendre toutes les mesures nécessaires pour garantir et maintenir la conformité avec les critères définis dans le plan HACCP.

**Maîtrise:** Situation dans laquelle les méthodes suivies sont correctes et les critères sont respectés.

**Intervention (mesure de maîtrise):** Toute action ou activité à laquelle on peut avoir recours pour prévenir ou éliminer un danger qui menace la salubrité de l'aliment ou pour le ramener à un niveau acceptable.

**Mesure corrective:** Toute mesure à prendre lorsque les résultats de la surveillance exercée au niveau du point critique indiquent une perte de maîtrise.

**Point critique:** Stade auquel une intervention peut être effectuée et est essentielle pour prévenir ou éliminer un danger menaçant la salubrité de l'aliment ou le ramener à un niveau acceptable.

**Seuil critique:** Critère qui distingue l'acceptabilité de la non-acceptabilité dans la surveillance à un point critique.

**Écart:** Non respect d'un seuil critique.

**Schéma des opérations:** Représentation systématique de la succession des étapes ou opérations utilisées dans la production ou la fabrication d'un produit alimentaire donné.

**HACCP:** Système permettant de définir, d'évaluer et de maîtriser les dangers qui menacent la salubrité des aliments.

**Plan HACCP:** Document préparé en conformité des principes HACCP en vue de maîtriser les dangers qui menacent la salubrité des aliments dans le segment de la production alimentaire à l'étude.

**Danger:** Agent biologique, biochimique ou physique ou état de l'aliment pouvant avoir un effet nocif sur la santé.

**Analyse des risques:** Démarche consistant à rassembler et à évaluer les données concernant les dangers et les facteurs contribuant à leur présence, afin de décider lesquels d'entre eux représentent une menace pour la salubrité des aliments et, par conséquent, devraient être pris en compte dans le plan HACCP.

**Surveiller:** Procéder à une série programmée d'observations ou de mesures afin de déterminer si le danger est maîtrisé à un point critique.

**Étape:** Point, procédure, opération ou stade de la production alimentaire, matières premières comprises, depuis la production primaire jusqu'à la consommation finale.

**Validation:** Obtention de preuves que les éléments du plan HACCP sont efficaces.

**Vérification:** Application de méthodes, procédures, analyses et autres évaluations, en plus de la surveillance, afin de déterminer s'il y a conformité avec le plan HACCP.

### . Définitions supplémentaires à envisager

**Niveau acceptable:** Niveau d'un danger pour la salubrité de l'aliment dont on estime qu'il présente un risque faible acceptable pour le consommateur. Le niveau acceptable du produit final, parfois appelé teneur limite, devrait être indiqué dans la description du produit et être normalement inférieur ou égal à la limite éventuellement fixée par la réglementation. Le niveau acceptable d'un danger à une étape intermédiaire du schéma du produit peut être fixé à un niveau supérieur à celui du produit final à condition que la limite puisse être atteinte dans le produit final.

**Système du produit:** Système complet comprenant toutes les activités précédant et suivant la récolte telles que culture, moisson, séchage, entreposage, transformation ou traitement, commercialisation et préparation en vue de la consommation domestique.

**Schéma du produit:** Schéma détaillant et numérotant chaque étape du système du produit.

**Arbre de décision:** Série de questions auxquelles il faut répondre par oui ou par non reliées sous forme de schéma. Les réponses déterminent le chemin à suivre et la décision à laquelle celui-ci aboutit.

**Négociant primaire:** le premier négociant intervenant dans la filière de commercialisation, qui, généralement, achète à des agriculteurs de petites quantités de marchandise qu'il rassemble avant de les envoyer à un négociant secondaire. Il est fréquent qu'il sèche partiellement le produit et l'entrepouse temporairement.

**Sort du produit:** Manière dont le produit doit être utilisé. Si un écart se produit à un point critique, une partie de la mesure corrective consiste à modifier le sort du produit.

**Danger réel:** Danger reconnu comme présentant un risque important d'être présent.

**Risque:** Degré de certitude que le danger se présentera ou ne se présentera pas, qui peut prendre une valeur comprise entre 0 et 1.

**Teneur limite en eau:** Teneur en eau à laquelle ou en dessous de laquelle les moisissures toxigènes ne peuvent se développer. Elle se rapporte à l'humidité minimale requise pour le développement des moisissures et la production de toxines.

**Négociant secondaire:** Négociant qui achète généralement des marchandises à un négociant primaire et en effectue (ou en poursuit) le séchage et l'entreposage.

**Teneur limite:** Niveau acceptable d'un danger dans le produit final, par exemple la limite de mycotoxine fixée par la réglementation et indiquée dans la description du produit.

**Les différentes tâches de l'établissement d'un plan HACCP**  
(d'après le Codex de 1997)

1. Constituer une équipe HACCP
2. Décrire le produit
3. Définir les caractéristiques essentielles du produit  
et son utilisation prévue
4. Construire un schéma du produit
5. Vérifier sur place le schéma du produit
6. Recenser tous les dangers possibles  
Procéder à une analyse des risques  
Définir les mesures d'intervention
7. Définir les points critiques
8. Établir les seuils critiques pour chaque point critique
9. Mettre en place un système de surveillance à chaque point critique
10. Définir les mesures correctives à appliquer en cas d'écarts
11. Établir des procédures de vérification
12. Constituer un dossier et tenir un journal de bord

**Modèle de formulaire - Description et utilisation prévue du produit**

**Nom du produit**

**Description complète du produit:** structure/variété, paramètres de transformation ou de traitement, teneurs en additifs, conditions de conservation, pH,  $a_w$ , teneur en eau, *et teneur limite en mycotoxines, le cas échéant (valeur réglementaire ou limite fixée par le client).*

**Spécifications du client**

**Conditions de conservation et de distribution**

**Durée de conservation**

**Emballage**

**Instructions figurant sur l'emballage**

**Consommateurs visés**

**Traitement recommandé avant consommation**

**Utilisation prévue:** par exemple, le produit final doit-il être cuit avant d'être consommé?

### Exemple d'arbre de décision pour déterminer les points critiques

**(La définition donnée dans le Codex de 1997 des mesures d'intervention a été légèrement modifiée pour s'appliquer à la chaîne de production. La définition comprend maintenant les activités auxquelles on a recours pour empêcher une nouvelle contamination)**

#### Répondre aux questions dans l'ordre

1. Existe-t-il des mesures de prévention?
 

Oui	Non	Modifier les étapes du procédé ou du produit	
		Un contrôle à cette étape est-il nécessaire pour la sécurité?	Oui
	Non	Pas un point critique	Fin*
  
2. L'étape est-elle spécifiquement conçue pour éliminer ou ramener à un niveau acceptable le risque de présence du danger? \*\*
 

Non			Oui
-----	--	--	-----
  
3. La contamination par le danger identifié pourrait-elle dépasser le niveau acceptable ou ce niveau pourrait-il devenir inacceptable? \*\*
 

Oui	Non	Pas un point critique	
-----	-----	-----------------------	--
  
4. Une étape ultérieure permet-elle d'éliminer le danger identifié ou d'en ramener le risque à un niveau acceptable? \*\*
 

Oui	Non	Point critique	Fin*
		Pas un point critique	Fin*

\* Passer au risque suivant

\*\* Les niveaux acceptables doivent être définis

**Exemple de feuille de travail HACCP**

**1. Description du produit**

**2. Schéma du produit**

**3. Plan d'analyse HACCP**

**Étape**  
**Risque**  
**Mesures d'intervention**  
**Contrôle**  
**Seuils critiques**  
**Méthode de contrôle**  
**Mesures correctives**  
**Dossier**

**4. Vérification**

## Chapitre 3

### Exemple d'application du système HACCP à la lutte contre les mycotoxines

Les exemples présentés dans ce chapitre sont destinés à illustrer l'application de l'analyse HACCP à la lutte contre les mycotoxines. Il convient de souligner que ces plans HACCP ne sont que des exemples et n'ont qu'une valeur indicative. Chaque plan HACCP doit être établi en suivant les 12 tâches et en appliquant les sept principes de la méthode. Il est peu probable que l'on trouve deux plans HACCP identiques, même pour un même produit.

Les exemples étudiés sont les suivants:

Exemple	Mycotoxine	Produit	Région
1	Aflatoxine	Maïs jaune en grains, destiné à des usines d'aliments pour l'élevage dans le pays d'origine et les pays d'exportation. Teneur limite en aflatoxine B1: $\leq 50$ ou $20 \mu\text{g}/\text{kg}$	Asie du Sud-Est
2	Aflatoxine	Aliment pour l'élevage à base de maïs. Teneur limite en aflatoxine B1 comprise, selon le type et l'âge de l'animal, entre 5 et $50 \mu\text{g}/\text{kg}$	Asie du Sud-Est
3	Aflatoxine	Tourteaux de coprah pour l'alimentation animale. Teneur limite en aflatoxine B1: $20 \mu\text{g}/\text{kg}$	Asie du Sud-Est
4	Aflatoxine	Beurre d'arachide fabriqué en usine. Teneur limite en aflatoxine B1 = $5 \mu\text{g}/\text{kg}$ pour la consommation locale, ou teneur spécifiée par le client pour le produit exporté	Afrique australe
5	Patuline	Jus de pomme. Teneur limite en patuline $\leq$ à $50 \mu\text{g}/\text{kg}$	Amérique du Sud
6	Aflatoxine	Pistaches en coques destinées à l'exportation. Teneur limite en aflatoxines totales comprise entre 4 et $20 \mu\text{g}/\text{kg}$ selon la réglementation en vigueur dans le pays importateur et selon que le produit doit ou non subir une transformation supplémentaire	Asie du Sud-Est

La teneur limite en mycotoxine indiquée est la limite fixée par la réglementation dans le pays d'origine ou la limite exigée par le client pour les produits exportés.

Les exemples choisis sont fortement dominés par l'aflatoxine parce que c'est la mycotoxine qui fait le plus souvent l'objet d'une réglementation. Le défaut de conformité avec la réglementation risque de créer un problème de sécurité sanitaire dans le pays et de provoquer la perte de marchés d'exportation très importants, ou de freiner considérablement la promotion d'un marché d'exportation.

Le mode de présentation des exemples se compose d'une brève introduction suivie d'une présentation des 12 étapes du système HACCP accompagnée d'un formulaire de description et d'utilisation prévue du produit, d'un schéma du produit et d'une feuille de travail pour le plan HACCP.

## Exemple n° 1: Maïs jaune en grains - Asie du Sud-Est

### Introduction

Deux récoltes sont possibles dans la majeure partie de l'Asie du Sud-Est: une récolte principale à la saison humide et une moindre récolte à la saison sèche. La première se caractérise par une manutention difficile après la récolte avec un risque élevé de contamination par les mycotoxines, tandis que la seconde présente peu de risques après la récolte mais est davantage prédisposée à la contamination avant. La production de maïs est souvent excédentaire et les excédents exportés comme ingrédients d'aliments pour l'élevage engendrent des recettes intéressantes en devises.

Les exportations de maïs jaune cultivé dans le sud-est asiatique pour être utilisé dans l'alimentation animale ont été sérieusement menacées au milieu des années 1980 par le fait que les exportateurs ne parvenaient pas à respecter les limites réglementaires fixées par les principaux pays importateurs (par exemple 20 µg/kg pour l'aflatoxine B1 dans l'UE), et il était urgent d'adopter des mesures efficaces pour reprendre la situation en main. Pour résoudre ce problème, un projet a été réalisé dont les conclusions (Nagler M.J. *et al.*, 1987; Jones B.D., 1986) servent de base pour le premier exemple.

### Tâche 1 - L'équipe HACCP

L'équipe HACCP doit normalement se composer d'un spécialiste HACCP, d'un mycotoxicologue, d'un spécialiste des céréales, d'un socioéconomiste, d'un mycologue, d'un ingénieur de séchage et de représentants du secteur public et privé du maïs.

### Tâches 2 et 3 - Description et utilisation prévue du produit

La description et l'utilisation prévue du produit figurent au tableau 3.

**Tableau 3. Description et utilisation prévue du maïs jaune en grains**

<b>Nom du produit</b>	Maïs destiné à l'alimentation animale
<b>Description</b>	Maïs jaune en grains
<b>Spécification du client</b>	Marché intérieur: classé Bonne qualité moyenne Exportation: classé selon la teneur limite en aflatoxine imposée par l'importateur, par exemple 20 µg/kg pour l'UE et le Japon
<b>Conditions de conservation</b>	En vrac en tas ou en silo En sacs empilés sur palettes
<b>Durée de conservation</b>	1 mois si la teneur en eau est < 16% 3 mois si la teneur en eau est < 14% 3 ans si la teneur en eau est < 12%
<b>Utilisation prévue</b>	Alimentation animale après broyage et généralement mélange à d'autres matières de fourrage
<b>Emballage</b>	Sacs de jute ou de polypropylène, vrac
<b>Utilisateurs visés</b>	Fabricants d'aliments pour l'élevage, dans le pays et dans l'UE

Teneur limite en aflatoxine B1 inférieure ou égale à 20µg/kg pour les exportations vers l'UE et le Japon, inférieure ou égale à 50 µg/kg pour les fabricants nationaux d'aliments pour l'élevage.

### Tâches 4 et 5 - Schéma du produit (vérifié)

Le schéma du produit doit être établi en utilisant les données fournies par les membres de l'équipe HACCP, notamment le spécialiste des céréales et les représentants du Ministère de l'agriculture. Il doit



être vérifié lors de visites effectuées sur les principaux centres de production du maïs, d'entretiens avec les agriculteurs, les négociants et les gérants de silos et d'usines de fabrication d'aliments et par l'observation de leurs pratiques. On trouvera à la figure 8 un exemple classique de schéma du produit.

**Figure 8: Schéma HACCP - Maïs jaune en grains d'Asie du Sud-Est**

Étape	Classification
1. <b>Exploitation agricole</b> Culture sur champ	BPA
2. <b>Exploitation agricole</b> Champ à maturité	BPA
3. <b>Exploitation agricole</b> Moisson	Point critique n°1
4. <b>Exploitation agricole</b> Inspection	Point critique n°2
5. <b>Exploitation agricole</b> Amassage et/ou stockage des épis	Point critique n°3
6. <b>Exploitation agricole</b> Égrenage	BPA
Grains	Égreneuse
7. <b>Premier négociant</b> Séchage au soleil Amassage	Point critique n°4
Camion de ramassage	
8. <b>Négociants secondaires ou régionaux</b> Séchage au soleil Amassage/stockage	Point critique n°5
9. <b>Usines d'aliments pour l'élevage/Silos</b> Contrôle de la qualité Stockage	Point critique n°6
Départ des silos pour l'exportation	

**Tâche 6: Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et définition des mesures permettant de les limiter**

### **Analyse des risques de contamination par les mycotoxines**

#### **a) Identification des risques**

Le maïs est très facilement contaminé par l'aflatoxine, classée comme agent carcinogène chez l'homme et qui fait l'objet d'une réglementation dans le monde entier. Les autres mycotoxines susceptibles d'être présentes sont la zéaralénone, un ou plusieurs trichothécènes et les fumonisines. Le maïs peut être contaminé par plus d'une mycotoxine et en contient parfois jusqu'à cinq ou six en même temps.

Toutefois, rares sont les pays qui ont adopté une réglementation limitant les teneurs en mycotoxines autres que l'aflatoxine, et l'équipe HACCP ne peut donc se concentrer en premier lieu que sur l'élimination des aflatoxines.

Dans cet exemple, l'aflatoxine est la seule mycotoxine prise en considération jusqu'à la septième tâche.

## **b) Détermination des étapes du schéma du produit auxquelles la contamination par les mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

### **Étapes 1, 2 et 3: Sur l'exploitation, pendant la culture jusqu'à la moisson comprise**

La contamination par l'aflatoxine avant la récolte est associée au stress dû à la sécheresse et aux attaques d'insectes (Fortnum B.A., 1986; McMillian W.W., 1986) pendant la phase de croissance finale. La moisson de saison sèche se prête davantage à ces conditions mais il s'est avéré que cette récolte n'était que modérément susceptible de présenter des taux élevés de contamination par l'aflatoxine avant la récolte. Des études de surveillance et des études de séchage sur le champ (Nagler M.J. *et al.*, 1988) ont montré dans les deux cas que les teneurs en aflatoxine étaient très faibles au moment de la récolte de la saison humide, résultat sans équivoque sur les sites étudiés et pendant les trois années de l'étude.

On en conclut que le risque de contamination par l'aflatoxine avant la récolte est faible, particulièrement pour le maïs cultivé pendant la saison humide.

### **Étape 4: Inspection des épis sur l'exploitation**

La contamination avant la moisson par les mycotoxines de *Fusarium* se manifeste par l'apparition de signes évidents de pourrissement des épis. L'incidence du pourrissement des épis a été étudiée à la fois sur le maïs produit pendant la saison sèche et sur le maïs produit pendant la saison humide.

### **Étape 5: Amassage et stockage des épis sur l'exploitation**

Des études de surveillance et des études de stockage sur l'exploitation ont montré, dans les deux cas, que les teneurs en aflatoxine B1 atteignaient des niveaux inacceptables de 60 à 90 µg/kg lorsque les épis étaient rentrés directement du champ pour être stockés pendant 1 à 6 mois, comme c'est l'usage.

On en conclut que la contamination par l'aflatoxine est très probable à cette étape.

### **Étape 6: Égrenage**

Aucune contamination par l'aflatoxine n'est susceptible de se produire à cette étape. Toutefois, un pourcentage élevé de grains brisés prédispose les grains à subir une contamination à une étape ultérieure.

### **Étape 7: Séchage et amassage chez le négociant primaire**

Les teneurs en aflatoxine du maïs fraîchement égrené augmentent très rapidement si la teneur limite en eau n'est pas atteinte en 48 heures. Les études réalisées durant la saison des pluies confirment que la contamination par l'aflatoxine est extrêmement probable à cette étape.

### **Étape 8: Séchage et stockage par un négociant secondaire**

Les études sur l'aflatoxine montrent que le maïs subit souvent une nouvelle contamination par l'aflatoxine à cette étape.

### **Étape 9: Usines d'aliments pour l'élevage et silos d'exportation**

Le maïs acheté par les usines d'aliments pour l'élevage et les silos, même s'il a une teneur en eau conforme à la teneur limite, provient d'origines diverses et présente de grandes variations de teneur en aflatoxine. L'aflatoxine produite à des étapes antérieures peut donc apparaître à cette étape.

Certains propriétaires de silos ont investi dans des séchoirs mécaniques de grande capacité et achètent à moindre prix du maïs non séché. Les longs délais pour atteindre le séchoir, comme en témoignent les files d'attente des camions et l'usage d'accaparer les silos font que le risque de contamination par l'aflatoxine est très élevé à cette étape.

### **c) Mesures à envisager contre les mycotoxines**

La mesure la plus efficace contre les mycotoxines est le séchage jusqu'à obtention d'une teneur en eau qui ne permette pas le développement de moisissures toxigènes et la production de mycotoxines. Pour le stockage de longue durée, un séchage complémentaire est nécessaire pour empêcher le développement de toutes les moisissures. La mesure d'intervention correspondante consiste à maintenir la teneur en eau en deçà d'une limite de sécurité.

Le séchage de la récolte de la saison humide sur le champ pendant 20 jours s'avère très profitable puisqu'il permet de ramener la teneur en eau des épis mûrs de 35% à moins de 22 pour cent, ce qui permet un égrenage immédiat et une moindre proportion de grains cassés. La teneur en eau plus faible facilite le séchage après la récolte et n'entraîne pas une augmentation significative de la contamination par l'aflatoxine. Cela était vrai dans cette étude mais peut ne pas être toujours le cas.

Les études sur le séchage et le stockage montrent que la contamination par l'aflatoxine peut aussi être empêchée par un séchage en deux fois du maïs égrené. Si le maïs est d'abord séché à 16% (aucune partie ne dépassant 16,5%), il peut se conserver sans risque pendant une semaine au moins. Ce résultat concorde avec le fait que *Aspergillus flavus* et *A. parasiticus* ne peuvent se développer et produire de l'aflatoxine lorsque l'humidité est inférieure ou égale à 0,82 à 25°C. Avec cette méthode, le négociant primaire pourrait sécher partiellement le maïs en grains avant de le revendre à un négociant secondaire qui en terminerait le séchage.

La séparation des lots de maïs acceptables de ceux qui ne le sont pas est aussi une mesure d'intervention utile. Bien que la séparation effectuée sur la base d'un prélèvement d'échantillons représentatifs et d'une recherche d'aflatoxine ait été employée comme mesure d'intervention, il est préférable de l'utiliser à des fins de contrôle seulement lorsque les teneurs en aflatoxine sont bien maîtrisées aux étapes ultérieures du schéma du produit.

Parmi les BPA, l'utilisation de variétés résistant à la moisissure, le recours à l'irrigation pour empêcher le stress dû à la sécheresse et l'emploi d'insecticides ou de prédateurs pour lutter contre les insectes sont des pratiques efficaces pour limiter le développement des moisissures avant la récolte et la contamination par les mycotoxines.

On a estimé qu'il était de bonne pratique d'égrener le maïs lorsqu'il a une teneur en eau appropriée en utilisant une égreneuse qui ne produise qu'un faible pourcentage de grains brisés.

### **Tâches 7 à 10 – Définition d'un plan HACCP**

Le tableau 4 montre une feuille de travail schématisant le plan HACCP pour le maïs jaune en grains destiné à l'alimentation animale. Le plan est développé par étape du schéma de produit dans le texte qui suit.

#### **Étape 1: Sur l'exploitation, culture en champ - BPA**

Le développement de moisissures avant la récolte peut être limité par l'utilisation de variétés assez résistantes telles que celles dont les épis sont bien couverts par l'enveloppe et se courbent tôt, permettant un bon écoulement de l'eau de pluie. La lutte contre les insectes, les rongeurs et les oiseaux peut aussi être un moyen efficace pour préserver l'intégrité physique de l'épi. Les épis endommagés sont plus susceptibles d'être attaqués par la moisissure.

### **Étape 2: Sur l'exploitation, culture arrivée à maturité – BPA**

Les épis ont une très forte teneur en eau, de l'ordre de 35 %, au moment où ils arrivent à maturité sur le champ, pendant la saison humide. Si la récolte se fait à ce moment là, il est extrêmement difficile de sécher le maïs de manière à abaisser suffisamment la teneur en eau pour qu'il puisse se conserver dans de bonnes conditions ou qu'il puisse être égrené sans risquer d'être attaqué par la moisissure ou contaminé par les mycotoxines. Il est préférable d'attendre pour le moissonner, à moins que cela n'augmente les risques d'attaque, par exemple par les ravageurs.

### **Étape 3: Sur l'exploitation, période de la moisson – Point critique n°1**

Bien que cette étape n'ait pas été définie comme s'accompagnant normalement de risques importants d'apparition d'aflatoxine, on a constaté qu'appliquer à ce stade une mesure d'intervention permettait de ramener à un niveau acceptable le risque d'une attaque ultérieure de moisissure. Le maïs séché sur le champ pouvait être égrené directement, avec un faible pourcentage de bris, et séché assez facilement jusqu'à la teneur limite en eau. On a donc déterminé que l'étape 3 était un point critique, le séchage sur le champ étant la mesure d'intervention à appliquer pour le maïs récolté en saison humide. Le seuil critique à ce point est une teneur en eau inférieure ou égale à 22 pour cent, et le contrôle est fait sous forme de test effectué par l'agriculteur. Avec de l'entraînement, les méthodes traditionnelles consistant à mordre dans les épis ou à soupeser les grains séparés des épis peuvent être utilisées pour évaluer la teneur en eau.

Dans cette étude, le risque accru de contamination par l'aflatoxine pendant le séchage sur le champ a été largement compensé par la diminution du risque de contamination après la récolte qui résulte de l'intervention. Ce n'est peut-être pas toujours le cas sur d'autres sites et dans d'autres conditions climatiques. La mesure à appliquer plus généralement serait donc de moissonner au moment qui convient.

### **Étape 4: Inspection sur l'exploitation – Point critique n°2**

Cette étape a été définie comme point critique auquel la mesure d'intervention consiste à séparer les épis visiblement moisis. L'intervention ramène le pourcentage d'épis moisis à un niveau acceptable et, par conséquent, les teneurs éventuelles en mycotoxines produites après la récolte. Elle réduit aussi le risque de biodétérioration et donc de production de mycotoxines que comporte le stockage d'épis moisis. Le seuil critique approprié pourrait être le rejet des épis présentant une atteinte de moisissure supérieure à 10 pour cent de leur surface. Il est préférable que des moissonneurs expérimentés soient chargés de la surveillance à ce point critique.

### **Étape 5: Amassage et stockage des épis sur l'exploitation –Point critique n°3**

Cette étape est définie comme un point critique pouvant comporter deux mesures d'intervention possibles. La première consiste à sécher les épis jusqu'à ce que leur teneur en eau soit au maximum égale à 16 pour cent dans les deux jours qui suivent la moisson avant de les engranger. Si cela n'est toutefois pas possible ou si l'on ne veut pas stocker le maïs, les épis doivent être égrenés pendant la semaine qui suit la moisson, et de préférence dans un intervalle de deux jours. Ces mesures d'intervention empêchent toute production ultérieure importante d'aflatoxine. Outre la teneur finale en eau, des seuils critiques peuvent être fixés en termes de durée du séchage au soleil, qui permettra d'arriver à la teneur finale en eau requise.

Il est déconseillé d'utiliser des sacs en polypropylène tant que le pourcentage d'humidité n'a pas été ramené à 14 pour cent.

Pour le stockage de moyenne durée (de 1 à 6 mois) sur l'exploitation, il convient de suivre les bonnes pratiques en matière de stockage pour éviter la moisissure. Parmi ces pratiques, on peut citer une toiture en bon état, une bonne ventilation, un plancher surélevé et un traitement contre les insectes et les ravageurs.

#### **Étape 6: Égrenage – BPA**

Limiter le pourcentage de bris de grains pendant l'égrenage est considéré comme une bonne pratique agricole. Les grains brisés se prêtent à l'invasion par des moisissures produisant de l'aflatoxine, ce qui peut conduire à augmenter les taux de contamination si les points critiques sont mal maîtrisés à une étape ultérieure. Ainsi, si les BPA ne sont pas correctement appliquées à cette étape, la conséquence en sera une susceptibilité extrême du produit si des mesures correctives doivent être prises à un point critique ultérieur.

Pour limiter le bris pendant l'égrenage, les épis de maïs doivent avoir une teneur en eau comprise dans la fourchette prévue pour l'égreneuse utilisée. Si les épis sont humides, c'est-à-dire si leur teneur en eau dépasse, disons, 20 pour cent, ils seront trop mous pour de nombreuses égreneuses et il y aura un fort pourcentage de grains abîmés. À l'inverse, si les épis sont trop secs, c'est-à-dire si leur teneur en eau est inférieure à 15 pour cent, ils risquent d'être friables.

#### **Étape 7: Négociant primaire – Point critique n°4**

Le séchage des grains juste après l'égrenage pour ramener leur teneur en eau à 16 pour cent au maximum dans un intervalle de 48 heures est la mesure d'intervention retenue pour faire de cette étape un point critique. Toutefois, les négociants primaires ont actuellement recours au séchage au soleil, méthode la moins fiable au moment où elle est le plus nécessaire, pendant la saison des pluies. Des seuils critiques sont fixés pour le séchage au soleil afin de donner une certaine maîtrise, mais le séchage mécanique est indispensable pour un degré de maîtrise suffisant. C'est malheureusement rarement possible d'un point de vue financier à l'étape du négociant primaire, mais cela peut l'être à l'étape 8. Les négociants primaires doivent donc rapidement faire passer le maïs aux négociants secondaires à la mauvaise saison.

Les négociants primaires stockent généralement le maïs pendant un délai assez court pour pouvoir accumuler suffisamment de marchandise pour leurs échanges avec les négociants secondaires. Pour éviter une réhumidification du maïs, il faut appliquer de bonnes pratiques en matière de stockage telles qu'une toiture saine et l'usage de palettes pour empêcher que le maïs ne s'humidifie au contact du sol.

#### **Étape 8: Négociant secondaire – Point critique n°5**

Cette étape est fixée comme point critique dont la mesure d'intervention est le séchage pour ramener la teneur en eau à 14 pour cent (aucune partie ne dépassant 15 pour cent) avant le stockage.

Certains négociants secondaires disposent de séchoirs mécaniques qu'ils utilisent en complément du séchage au soleil ou lorsque celui-ci n'est pas possible.

Il importe de veiller à l'application des bonnes pratiques de stockage. À côté des mesures destinées à empêcher une réhumidification, il faudra employer des mesures de lutte contre les insectes et les rongeurs si l'on veut se prémunir contre les mycotoxines durant le stockage de moyenne ou de longue durée.

#### **Étape 9: Usines d'aliments pour l'élevage et silos d'exportation – Point critique n°6**

Si les mesures d'intervention aux points critiques précédents ont pu être appliquées correctement, un contrôle est plus indiqué à cette étape qu'un point critique. Il faudra cependant du temps pour mettre en place de façon satisfaisante ce plan HACCP dans le secteur commercial, et il convient donc de définir ici un point critique de ségrégation. Le seuil critique qui lui correspond est la teneur limite en aflatoxine, et la surveillance sera effectuée par prélèvement d'échantillons représentatifs et recherche d'aflatoxine par essai semi-quantitatif.

Les silos d'exportation qui ont pour politique d'acheter du maïs non séché et d'utiliser le séchage mécanique devraient acheter en fonction de leurs capacités de séchage. Retarder le séchage permet à la moisissure de s'installer, élève la température et favorise rapidement la production de mycotoxines.

De bonnes pratiques de stockage doivent être appliquées à cette étape pour empêcher la réhumidification et les dégâts dus aux ravageurs.

#### ***Tâche 11: Mettre en place des procédures de vérification***

Des méthodes de validation sont définies pour chaque point critique et la vérification de l'ensemble se compose des résultats des essais quantitatifs d'aflatoxine effectués sur des échantillons représentatifs des lots arrivant aux usines d'aliments pour l'élevage du pays ou sur des échantillons représentatifs prélevés avant chargement pour le maïs destiné à l'exportation.

Les mesures d'intervention ont été validées sur une échelle de 10 tonnes et reproduites 10 fois sur deux sites dans des régions de grande production. Les teneurs en aflatoxine trouvées dans le maïs produit selon ce plan HACCP étaient en moyenne inférieures à 5 µg/kg sur les deux sites, alors que l'on retrouvait, dans le maïs de production commerciale n'ayant pas fait l'objet de mesures d'intervention, des teneurs moyennes à peine inférieures à 200 µg/kg.

Le plan HACCP est vérifié tous les trois mois et modifié au besoin.

#### ***Tâche 12: Tenir un dossier et des documents de bord***

Le plan HACCP doit être accompagné d'une documentation complète comportant la tenue de documents de bord à chaque étape.

**Tableau 4. Feuille de travail pour un plan HACCP - L'aflatoxine dans le maïs jaune en grains destiné à l'alimentation animale**

Étape du procédé	Description du risque	Mesures d'intervention possibles
1 et 2 Culture sur l'exploitation	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE <i>(risque faible pour la récolte de saison humide, plus élevé pour celle de saison sèche)</i>	<i>Variétés résistantes, par exemple maïs à épis retombant tôt</i> <i>Insecticides, prédateurs</i>
3 Moisson	<i>Moisissure</i>	Sécher sur pied* pendant au maximum 20 jours à la saison humide (pour faciliter l'intervention après la récolte)
4 Inspection sur l'exploitation	<i>Moisissure</i>	Jeter les épis moisissés
5 Ramassage sur l'exploitation	<i>Moisissure (contamination après la récolte)</i> <i>(Risque faible pour la récolte de saison sèche, élevé pour celle de saison humide)</i>	Réduire la durée pendant laquelle la teneur en eau est supérieure à 16 %
Stockage	<i>Moisissure/aflatoxine</i>  <i>Insectes</i>	Sécher les épis pour ramener la teneur en eau à 0,82 (limite de sécurité) avant d'enranger Empêcher la réhumidification dans l'entrepôt par une ventilation maximale  Insecticide: poussière inerte ou produit biologique
6 Égrenage sur l'exploitation	<i>Moisissure</i>	Réduire le nombre de grains brisés en égrenant après avoir ramené la teneur en eau à moins de 22%
7 Négociant primaire Stockage des grains à court terme	<i>Moisissure</i> <i>Risque très élevé en saison humide, faible en saison sèche</i>	Sécher les grains, dans un intervalle de 48 heures, jusqu'à ce que la teneur en eau soit inférieure ou égale à 16%, aucune partie ne dépassant 16,5%, si la conservation ne dépasse pas 1 semaine  PRIMES aux agriculteurs qui ne moissonnent que lorsque la teneur en eau n'atteint plus que 22% maximum Améliorer l'agencement de l'entrepôt pour favoriser la ventilation Ne pas utiliser des sacs en polypropylène mais en jute
8 Négociant secondaire  Quantités plus importantes, stockage plus long	<i>Moisissure</i> <i>Risque élevé à la saison humide, très faible à la saison sèche</i>	Sécher jusqu'à ce que la teneur en eau atteigne 14%, aucune partie ne dépassant 15%, limite de sécurité pour le stockage de moyenne durée  PRIMES aux premiers négociants pour le maïs dont la teneur en eau est réduite à moins de 16%

<p>9 Usines d'aliments pour l'élevage/ Silos Quantités massives, stockage de longue durée</p>	<p><i>Aflatoxine</i></p> <p><i>Insectes</i></p>	<p>Amélioration du tri: rejeter ou déclasser le maïs contenant des quantités excessives d'aflatoxine ou trop riche en eau Réduire le temps passé sur les camions dans l'attente des essais et du déchargement (<b>éviter la chaleur</b>) Fumigations ou atmosphère modifiée</p>
<p>Transport entre étapes</p> <p>Camions de ramassage</p>		<p>Éviter les sacs en polypropylène lorsque le maïs contient plus de 14% d'eau. Limiter la durée à bord des camions Sécher convenablement et uniformément le maïs avant le transport Utiliser des bâches par temps de pluie, les retirer par temps sec</p>

\*Après la maturité, laisser sur le champ avant de moissonner.

\*\* BPS: Bonnes pratiques de stockage

### Références

Fortnum, B. A. (1986) 'Effect of Environment on Aflatoxin Development in Preharvest Maize'. *Aflatoxin in Maize: Proceedings of the Workshop, El Batan, Mexico, April 7-11 1986* CIMMYT ISBN-6127-12-7. pp145-149

Jones, B.D., Kenneford, S., Nagler, M.J., Meadley, J., Buangsuwon, D. (1986) 'Efforts to Control the Levels of Aflatoxin in South-East Asian Maize'. *International Biodeterioration Spp.* 22 89-94.

McMillian, W. W. (1986) 'Relation of Insects to Aflatoxin Contamination in Maize Grown in the Southeastern USA'. *Aflatoxin in Maize: Proceedings of the Workshop, El Batan, Mexico, April 7-11 1986* CIMMYT ISBN-6127-12-7. pp194-199

Nagler, M.J., Jewers, K., Wong-Urai, A., Tonboon-Ek, P., Buangsuwon, D., Lorsuwon, C., Siriacha, P., Meadley, J. (1987) 'Production & Quality Control of Maize with a Low Aflatoxin Content during the Rainy Season in Thailand'. *Proceedings of the 9th ASEAN Technical Seminar on Grain Post Harvest Technology*. Singapore 26-29 August 1986. Ed. de Mesa, B.M. ASEAN, Manila.

Nagler, M.J., Buangsuwon, D., Jewers, K., Faungfupong, S., Wong-Urai, A., Nagler, C., Tonboon-Ek, P. (1988) 'The Role of Leaving Maize Unharvested in the Field after Field-Maturity (Field-Drying) in Controlling Aflatoxin Contamination'. *Proceedings of the 10th ASEAN Technical Seminar on Grain Post Harvest Technology*. Bangkok 19-21 August 1987.



## Exemple n° 2: Aliment pour l'élevage à base de maïs - Asie du Sud-Est

### Introduction

Ce plan HACCP fait immédiatement suite à celui du premier exemple et porte sur l'utilisation du maïs jaune en grains dans une usine d'aliments pour l'élevage du sud-est asiatique. L'usine passe généralement des contrats avec des négociants secondaires pour la fourniture de maïs d'une qualité spécifiée, mais elle peut aussi s'approvisionner auprès de négociants occasionnels, surtout lorsque les réserves sont basses.

### Tâche 1 - L'équipe HACCP

Normalement, l'équipe HACCP comprend le directeur de l'usine ou son adjoint, le directeur du contrôle de qualité, le directeur des achats, l'ingénieur en chef et le responsable du laboratoire de contrôle de qualité.

### Tâches 2 et 3 - Tableau 5: Description et utilisation prévue du produit

<b>Nom du produit</b>	Maïs destiné à l'alimentation des animaux
<b>Description</b>	Maïs broyé ou aliment composé à base de maïs pour des animaux spécifiés d'âge spécifié
<b>Spécifications du client</b>	Aliment équilibré, salubre, dont la teneur en mycotoxines est inférieure aux limites légales pour l'aliment spécifié, normalement comprises entre 5 et 50µg/kg pour l'aflatoxine B1
<b>Conditions de conservation</b>	Sacs entassés sur palettes
<b>Durée de conservation</b>	3 mois sur palettes avec une teneur en eau <13%
<b>Utilisation prévue</b>	Alimentation animale
<b>Emballage</b>	Sacs multicouche, généralement enduits de cire ou d'un film plastique pour limiter le transfert d'humidité
<b>Consommateurs visés</b>	Animaux spécifiés d'âge spécifié

Teneur limite comprise entre 5 et 50 µg/kg selon l'animal.

### Tâches 4 et 5 - Schéma du produit (vérifié)

On trouvera à la figure 9 une représentation succincte du schéma du produit tel qu'il a été établi et vérifié.

**Figure 9. Plan HACCP - Schéma du produit: aliment pour l'élevage à base de maïs produit en Asie du Sud-Est**

Étape	Classification
<b>Maïs provenant de négociants secondaires ou régionaux (non certifié)</b>	<b>Autres ingrédients ayant une teneur connue en aflatoxine</b>
1) <b>Usine d'aliments pour l'élevage</b> Achat du maïs, stockage	<b>Point critique n°1</b>
2) <b>Usine d'aliments pour l'élevage</b> Broyage du maïs	BPF
3) <b>Usine d'aliments pour l'élevage</b>	

	Stockage du maïs broyé	BPF
4)	<b>Usine d'aliments pour l'élevage</b> Mélange des ingrédients	BPF
5)	<b>Usine d'aliments pour l'élevage</b> Granulation de l'aliment	<b>Point critique n°2</b>
6)	<b>Usine d'aliments pour l'élevage</b> Emballage de l'aliment	BPF
7)	<b>Usine d'aliments pour l'élevage</b> Étiquetage de l'aliment	BPF
8)	<b>Usine d'aliments pour l'élevage</b> Stockage de l'aliment	BPF
9)	<b>Transport</b>	BPF
10)	<b>Vente au détail</b>	BPF
11	<b>Exploitation agricole</b> Stockage Utilisation	BPF/BPA

***Tâche 6: Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et détermination des mesures permettant de les limiter***

**Analyse des risques de contamination**

**a) Risque de contamination par les mycotoxines**

Le maïs peut être contaminé par un certain nombre de mycotoxines, parmi lesquelles la zéaralénone, un ou plusieurs trichothécènes, l'ochratoxine A et la fumonisine B1, et bien sûr les aflatoxines. La contamination peut provenir de plusieurs mycotoxines à la fois, dont le nombre peut aller jusqu'à 5 ou 6. Elle peut entraîner une réduction sensible de la production animale, et se transmettre à l'homme par la chaîne alimentaire. Rare sont les pays qui ont fixé des teneurs limites en mycotoxines autres que les aflatoxines, et l'équipe HACCP a donc reconnu l'aflatoxine comme le principal facteur de contamination possible.

**b) Détermination des étapes du schéma de produit auxquelles la contamination par les mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

**Étape 1: Achat et stockage**

La plus grande partie des aflatoxines, comme d'ailleurs des autres mycotoxines, qui se trouvent dans les aliments du bétail est déjà présente dans les matières premières.

**Étape 2: Broyage**

La contamination par l'aflatoxine est peu probable à cette étape à condition que l'on procède à un nettoyage normal, comme le prévoient les Bonnes pratiques de fabrication (BPF).

**Étape 3: Stockage du maïs moulu**

La contamination par l'aflatoxine est peu probable à cette étape à condition que la teneur en eau soit contrôlée à l'étape 1.

#### **Étape 4: Mélange des ingrédients**

Cette étape doit être réalisée correctement pour que la teneur en aflatoxine du mélange soit contenue dans les limites.

#### **Étape 5: Granulation**

Une contamination par les aflatoxines peut se produire à cette étape si l'on ajoute trop d'eau au mélange pendant l'opération ou après afin d'avoir une teneur en eau maximale.

#### **Étape 6: Emballage**

La contamination par l'aflatoxine est peu probable à cette étape, et un bon emballage peut en fait protéger d'une contamination ultérieure.

#### **Étape 7: Étiquetage**

Un bon étiquetage est très important pour la sécurité de l'aliment.

#### **Étape 8: Stockage de l'aliment**

Il est rare que les usines d'aliments pour l'élevage gardent longtemps les aliments qui sont généralement expédiés et utilisés chez les agriculteurs dans un délai de deux à trois semaines. Le risque de contamination par l'aflatoxine est faible à cette étape.

#### **Étape 9: Transport**

Les aliments pour l'élevage sont généralement distribués par camion, mais ils peuvent être expédiés par bateau d'une île à une autre. Le risque de contamination par l'aflatoxine est faible pendant le transport.

#### **Étape 10: Vente au détail**

La contamination par l'aflatoxine à cette étape est improbable.

#### **Étape 11: Stockage et utilisation sur l'exploitation agricole**

De mauvaises conditions de stockage ou pratiques d'alimentation du bétail peuvent provoquer une contamination des aliments.

#### **c) Mesures permettant d'empêcher la contamination par les mycotoxines**

La mesure la plus importante consiste à acheter du maïs et d'autres ingrédients constituant l'aliment qui ne présentent qu'un risque acceptable faible d'avoir des teneurs en mycotoxines inacceptables, soit en achetant du maïs convenablement certifié, soit en séparant les lots acceptables des lots inacceptables au moment de l'achat.

Pour empêcher la présence de mycotoxines dans l'usine d'aliments, le meilleur moyen est de veiller à ce que le maïs acheté présente une teneur en eau inférieure à la limite de sécurité au moment de l'achat et à ce que celle-ci soit maintenue à un niveau trop faible pour permettre le développement de moisissures pendant toutes les étapes ultérieures.

Il est indispensable de choisir des formules appropriées pour produire des aliments dont la teneur en aflatoxines est conforme aux spécifications de chaque produit.

### ***Tâches 7 à 10: Établissement d'un plan HACCP***

Le tableau 6 présente une feuille de travail schématisant le plan HACCP pour la production d'aliments composés à base de maïs destinés à l'élevage. Chaque étape du plan est développée dans le texte qui suit

#### **Étape 1: Achat et stockage, point critique n°1**

Il est indispensable d'acheter du maïs dont la teneur en mycotoxines soit convenablement certifiée ou de séparer les lots achetés qui sont acceptables de ceux qui ne le sont pas. Cette mesure d'intervention empêche que des teneurs inacceptables en mycotoxines n'entrent dans la chaîne de l'usine.

Le seuil critique a été fixé à 50 µg/kg pour l'aflatoxine B1 dans cet exemple, mais des seuils critiques peuvent aussi, au besoin, être fixés pour d'autres mycotoxines. La surveillance du seuil critique est effectuée par prélèvement d'échantillons représentatifs, de préférence à l'entrepôt du fournisseur avant le chargement. À défaut, des échantillons représentatifs peuvent être pris dans chaque camion ou convoi de camions pour les essais. Les échantillons sont analysés à l'aide d'un dispositif rapide à mini-colonnes ou d'une trousse de diagnostic, et seuls les lots ayant une teneur acceptable en mycotoxines sont acceptés.

Il est aussi très important d'acheter des ingrédients dont la teneur en eau soit inférieure ou égale à la limite de sécurité, correspondant à un facteur d'humidité de 0,70. Cette mesure d'intervention empêche la production d'aflatoxine et d'autres mycotoxines dans l'usine d'aliments pour l'élevage.

Le seuil critique pour le maïs est une teneur en eau moyenne de 14 pour cent, mais il importe par-dessus tout qu'aucun sac ne contienne plus de 15 pour cent d'humidité, et il faut donc, en plus des échantillons représentatifs, faire des prélèvements aléatoires. Le seuil critique est contrôlé en mesurant la teneur en eau des échantillons représentatifs et des échantillons prélevés au hasard sur chaque lot en utilisant un hygromètre régulièrement étalonné.

Les teneurs en aflatoxines ne devraient normalement pas augmenter pendant le stockage si les conditions d'humidité mentionnées plus haut sont respectées. Les Bonnes pratiques en matière de stockage (BPS) telles que le stockage sur palettes, la propreté des locaux, l'utilisation par ordre d'arrivée et une toiture saine suffisent. Lorsque les usines stockent des matières premières pendant des périodes prolongées, pour s'assurer un approvisionnement constant ou pour profiter de prix bas, le problème des insectes et des rongeurs prend de l'importance, mais les moyens d'y remédier comptent encore parmi les BPS.

#### **Étape 2: Broyage du maïs, BPF**

Le nettoyage s'impose pour empêcher l'accumulation de poussière dans le moulin, susceptible de constituer une source de moisissures et de contamination.

Si le moulin traite le maïs en lui ajoutant de l'eau avant le broyage, le procédé doit être contrôlé et cette étape devient un point critique.

#### **Étape 3: Stockage du maïs moulu, BPS**

Il est indispensable de choisir les lots appropriés d'ingrédients et les formules des aliments pour obtenir des aliments dont la teneur en aflatoxine est conforme aux spécifications pour chaque type d'aliment. Il faut avoir une estimation bien précise de la teneur en aflatoxine de chacun des ingrédients de la composition pour pouvoir calculer la teneur en aflatoxine de l'aliment composé. Les lots

d'ingrédients utilisés doivent être soigneusement sélectionnés, surtout pour les aliments qui doivent être pauvres en aflatoxines. Il peut s'avérer nécessaire de modifier la formulation pour respecter les teneurs limites en aflatoxine.

Cette étape pourrait être envisagée comme point critique, mais elle relève des BPF si le contrôle est bien effectué à la première étape.

#### **Étape 5: Granulation de l'aliment, point critique n°2**

L'aliment est humidifié par un apport de vapeur sèche pendant le processus de granulation. Il est indispensable de faire refroidir les pellets à la température ambiante en utilisant une aération suffisante pour que l'aliment sèche jusqu'à la teneur limite en eau.

Le seuil critique de teneur en eau est fixé à 13 pour cent pour les pellets sur le point d'être emballés. Il est contrôlé par prélèvement d'un échantillon représentatif de chaque lot. La teneur en eau de chacun des échantillons est mesurée à l'aide d'un hygromètre régulièrement étalonné.

L'addition de vapeur sèche à 110°C pendant la formation des pellets stérilise l'aliment. Les spores fongiques présentes dans l'aliment sont détruites, ce qui réduit la probabilité de développement ultérieur de moisissures.

#### **Étape 6: Emballage de l'aliment, BPF**

Un bon emballage, à l'aide par exemple de sacs étanches à l'eau, empêche la réhumidification de l'aliment et le risque de contamination ultérieure par des mycotoxines.

#### **Étape 7: Étiquetage de l'aliment, BPF**

L'étiquetage correct du produit est très important. Une erreur d'étiquetage qui consisterait à étiqueter un sac contenant un aliment pour du bétail de boucherie (dont la teneur limite en aflatoxine B1 est de 49 µg/kg) comme s'il s'agissait d'un aliment pour du bétail laitier (teneur limite inférieure ou égale à 5 µg/kg) aurait des conséquences graves. Toutefois, le contrôle de cette opération relève des BPF.

L'étiquetage doit comprendre le certificat attestant que l'aliment est conforme aux exigences de la réglementation concernant l'aflatoxine.

#### **Étape 8: Stockage de l'aliment, BPF**

L'aliment est rarement stocké plus de quelques jours à l'usine, et il n'y a donc aucune consigne particulière à appliquer en matière de stockage.

#### **Étape 9: Transport, BPF**

Un emballage étanche à l'eau protège l'aliment pendant le transport.

#### **Étape 10: Vente au détail, BPS**

Le détaillant ne devrait pas conserver en magasin des aliments ayant dépassé la date limite de vente, ni des aliments dont l'emballage est ouvert ou abîmé.

#### **Étape 11: Stockage et utilisation sur l'exploitation, BPS/BPA**

Les aliments doivent être stockés sur l'exploitation à l'abri de l'humidité.

Les agriculteurs ne doivent pas utiliser des aliments dont la date limite de vente est dépassée. Les distributeurs de nourriture doivent être nettoyés quotidiennement pour empêcher le développement de moisissures sur des restes d'aliments.

**Tableau 6. Feuille de travail pour un plan HACCP - Aliments pour l'élevage à base de maïs-Asie du Sud-Est**

Étape du procédé	Description du risque	Mesures d'intervention possibles	Étape de contrôle?	Seuil critique	Méthodes de contrôle	Mesures correctives	Dossier
1 Usine d'aliments pour l'élevage Entrée du maïs	Contamination par l'aflatoxine	Séparer les lots et n'accepter que ceux dont la teneur en aflatoxine est acceptable  Limiter la teneur en eau pour empêcher une contamination ultérieure par l'aflatoxine	<b>Point critique n°1</b>	aflatoxine B1<50 pp milliard  teneur en eau <14%, aucune partie >15%	De préférence, prélèvements et recherche rapide de mycotoxines sur les chargements de camions ou sur les lots Mesure de la teneur en eau sur au moins 10 points de prélèvement	Rejeter le lot Changer de fournisseur si le nombre de lots rejetés est inacceptable Sécher ou rejeter	Bulletins d'analyse  Bulletins d'analyse
2 Usine d'aliments pour l'élevage Broyage	Contamination par l'aflatoxine	Nettoyer l'usine pour empêcher la moisissure de dépôts et le transfert	BPF				
3 Usine d'aliments pour l'élevage Stockage du maïs moulu	Contamination par l'aflatoxine	Bonnes pratiques de stockage Limiter la durée du stockage	BPF				
4 Usine d'aliments pour l'élevage I Ajout des autres ingrédients et mélange	Contamination par l'aflatoxine	Définir la composition et choisir les lots pour respecter les teneurs limites en aflatoxine de certains aliments	BPF				
5 Usine d'aliments pour l'élevage Granulation	Contamination par l'aflatoxine	Contrôler la teneur en eau des pellets en assurant une bonne aération pendant le refroidissement	<b>Point critique n°2</b>	teneur en eau < ou = 13%	Mesure de la teneur en eau	Séchage complémentaire	Dossier de fabrication
6 Usine d'aliments pour l'élevage Packaging	Contamination par l'aflatoxine	Utiliser un conditionnement approprié, par exemple un sac multicouche doublé d'une feuille de matière plastique pour les aliments hygroscopiques	BPF				
7 Usine d'aliments pour l'élevage Labelling	Contamination par l'aflatoxine	Veiller au bon étiquetage Certifier que l'aliment a une faible teneur en aflatoxine	BPF				
8 Usine d'aliments pour l'élevage Stockage	Contamination par l'aflatoxine	Bonnes pratiques en matière de stockage, limiter la durée du stockage	BPS				
9 Transport	Contamination par l'aflatoxine	Empêcher la réhumidification	BPS/BPF				

10	Vente au détail	Contamination par l'aflatoxine	Limiter la durée du stockage	BPS				
11	Stockage Utilisation	Contamination par l'aflatoxine	Acheter des aliments à faible teneur en aflatoxine certifiée Limiter la durée du stockage Nettoyer les distributeurs de nourriture	BPA BPS BPA				



***Tâche 11: Établir des procédures de vérification***

À chaque point critique doit correspondre une méthode de validation, et la vérification générale du plan HACCP se compose des résultats des mesures d'aflatoxine obtenus sur des échantillons représentatifs de lots d'aliments à la sortie d'usine.

Les plaintes d'agriculteurs ou de négociants doivent être enregistrées et suivies, surtout si elles dessinent une tendance pouvant faire penser à un foyer d'aflatoxicose. Cela pourrait révéler que le plan HACCP n'a pas fonctionné correctement et doit être modifié.

Le plan HACCP doit être vérifié chaque trimestre et modifié au besoin.

***Tâche 12: Tenir un dossier et des documents de bord***

Le Plan HACCP doit être accompagné d'une documentation complète et les résultats de la surveillance aux points critiques, des écarts et des mesures correctives doivent être consignés.

### Exemple n° 3: Tourteaux et farine de coprah - Asie du Sud-Est

#### Introduction

L'huile de coprah est extraite de la pulpe de noix de coco séchée, ou coprah. Le résidu qui subsiste après l'extraction mécanique de l'huile s'appelle le tourteau de coprah et, lorsque qu'il a été soumis à l'action d'un solvant pour augmenter la production d'huile, on obtient la farine de coprah. Ces sous-produits du coprah sont des sources intéressantes de protéines pour l'alimentation animale, en particulier pour le bétail laitier. Au début des années 1990, l'Union européenne a renforcé les règles relatives à la présence d'aflatoxine B1 dans les aliments du bétail laitier, abaissant la teneur limite de ces aliments à 5 µg/kg et celle des sous-produits du coprah à 20 µg/kg. Cette décision a mis en péril le marché de l'exportation des sous-produits du coprah, d'une importance vitale pour les pays exportateurs. La perte du marché, dont la valeur atteignait 80 millions de dollars É.-U. pour un seul pays du sud-est asiatique, aurait conduit à la fermeture des huileries et mis des millions de planteurs de coprah en grande difficulté.

On a alors eu recours à l'approche HACCP pour tenter de sauver le débouché européen en augmentant très sensiblement le nombre des lots conformes à la nouvelle réglementation et en rétablissant la confiance de l'Europe dans le produit. Dans cet exemple, nous avons pris comme base les résultats de la recherche associée (Andanar W., 1991; Anon, 1993).

#### Tâche 1 - L'équipe HACCP

Normalement, l'équipe HACCP comprend un spécialiste de la méthode, un mycotoxicologue, un spécialiste des oléagineux, un socioéconomiste, un mycologue, un ingénieur du séchage et des représentants des huileries de coprah publiques et privées.

#### Tâches 2 et 3 - Description et utilisation prévue du produit (vérifié)

Les renseignements sont donnés dans le tableau 7.

#### Tâches 4 et 5 - Schéma du produit (vérifié)

Le schéma du produit sera établi à l'aide des informations fournies par l'équipe HACCP et vérifié par une visite dans les grands centres de production de coprah et les principales huileries, en interrogeant les principaux acteurs et en observant leurs pratiques. On trouvera à la figure 10 un exemple typique de schéma du produit.

**Tableau 7. Description et utilisation prévue du produit.**

<b>Nom du produit</b>	Tourteau ou farine de coprah
<b>Description</b>	Résidu de pulpe de coprah après extraction mécanique de l'huile (tourteau) ou extraction supplémentaire à l'aide d'un solvant (farine)
<b>Spécifications du client</b>	Teneur en eau de l'aliment granulé inférieure ou égale à 12% Teneur en aflatoxine B1 inférieure à 20 parties par milliard
<b>Conditions de conservation</b>	Température ambiante dans l'entrepôt du transformateur (25-35°C)
<b>Durée de conservation</b>	Jusqu'à 12 mois si la teneur en eau est inférieure ou égale à 12%
<b>Utilisation prévue</b>	Ingrédient entrant dans la composition d'aliments pour la volaille et les ruminants, principalement le bétail laitier
<b>Emballage</b>	Vrac, en cale de navire
<b>Utilisateur visé</b>	Fabricants d'aliments composés pour animaux de la CE

Teneur limite en aflatoxine B1: inférieure ou égale à 20 µg/kg.

**Figure 10. Schéma du produit vérifié**

<b>Étape</b>		<b>Classification</b>
1)	<b>Plantation de cocotiers</b> Récolte - décorticage	<b>Point critique n°1</b>
2)	<b>Plantation de cocotiers</b> Ouverture	BPA
3)	<b>Plantation de cocotiers</b> Séchage	<b>Point critique n°2</b>
4)	<b>Négociant primaire</b> Ramassage/séchage	<b>BPF</b>
5)	<b>Négociants secondaires/urbains</b> Stockage	<b>BPF</b>
6)	<b>Huileries</b> Achat	<b>BPF</b>
7)	<b>Huileries</b> Extraction mécanique/Extraction chimique/ Granulation pour obtenir des tourteaux ou de la farine de coprah	<b>Point critique n°3</b>
8)	<b>Exportation</b> Expédition des tourteaux ou de la farine de coprah	<b>BPS</b>

***Tâche 6: Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et détermination des mesures permettant de les limiter***

#### **Analyse des risques de contamination par les mycotoxines**

##### **a) Identification**

L'aflatoxine est la seule mycotoxine dont la teneur ait été réglementée pour protéger la santé et la production animales, et pour garantir que la teneur du lait en aflatoxine M1, métabolite de l'aflatoxine B1, ne dépasse pas la limite impérative de 0,05 µg/litre.

##### **b) Détermination des étapes du schéma du produit auxquelles la contamination par les mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

Des études de surveillance et des essais contrôlés ont été réalisés pour déterminer à quelles étapes la contamination par les aflatoxines était le plus susceptible de se produire. Les résultats ont indiqué que l'aflatoxine était produite dans les dix jours suivant l'ouverture de la noix de coco, lorsque le facteur d'humidité de la pulpe était supérieur à 0,82 et que des moisissures, sources de mycotoxines, pouvaient se développer. Cette situation se produisait à l'étape 3 (sur la plantation) ou à l'étape 4 (chez le négociant primaire). Les teneurs en aflatoxine étaient toujours nulles avant l'ouverture des noix, à condition que celles-ci soient saines. Si la noix avait été ouverte prématurément, pendant la récolte ou

le décorticage, elle pouvait être contaminée avant le séchage. Les noix rejetées par les producteurs de noix de coco séchées étaient souvent des noix fendues, et constituaient un cas d'espèce.

Aux étapes suivantes, le risque de contamination était faible, à l'exception de l'étape 7 où l'utilisation d'un excès d'humidité pour confectionner les pellets les exposait au risque de moisissure et de contamination par des mycotoxines.

### **c) Mesures permettant d'empêcher la contamination par les mycotoxines**

La mesure jugée de loin la plus importante est le séchage uniforme, en l'espace de 48 heures, pour ramener la teneur en eau en dessous de la limite de sécurité.

Les études de surveillance ont largement montré que le séchage traditionnel dans la fumée était lié à une faible teneur du coprah en aflatoxine.

On a constaté que les teneurs moyennes en aflatoxine du coprah séché au soleil étaient très élevées. Cela tient principalement au fait qu'il faut quatre ou cinq jours entiers pour atteindre la teneur en eau de sécurité, mais les agriculteurs ne laissent le produit sécher que pendant deux ou trois jours. Prolonger le séchage ne serait pas une solution complètement satisfaisante puisque le coprah pourrait encore avoir une teneur en eau supérieure à la teneur limite pendant plus de 48 heures et risquerait d'être contaminé pendant le séchage. Cette option repose par ailleurs sur l'hypothèse que le temps est parfait pour le séchage. Si le séchage est ralenti par la nébulosité ou interrompu par la pluie, il y a de fortes chances que l'on retrouve des teneurs élevées en aflatoxines B1. On a donc estimé que déconseiller le séchage au soleil était une mesure d'intervention.

Il fallait trouver des moyens d'inciter les agriculteurs et les négociants à produire du coprah pauvre en aflatoxines. Une possibilité s'est offerte avec la modification du système national de classement qui a consisté à différencier les niveaux de qualité selon le pourcentage de moisissure vert-jaune et à augmenter les primes en faveur du coprah séché, de sorte qu'il devenait intéressant de sécher jusqu'à la teneur limite.

### ***Tâches 7 à 10: Établissement d'un plan HACCP***

On trouvera au tableau 8 une représentation schématique du plan HACCP mis en place pour les sous-produits du coprah. Dans le texte qui suit, le plan est développé par étape du schéma du produit.

#### **Étape 1: Plantation, récolte et décorticage - Point critique n° 1**

Cette étape a été classée comme point critique et assortie d'une mesure d'intervention visant à éliminer les noix de coco fendues pendant la récolte et le décorticage. Cette mesure permettrait d'éliminer toute aflatoxine déjà présente.

Le seuil critique fixé est l'absence complète de noix de coco fendues, contrôlée par le personnel chargé de récolter et de décortiquer les noix après avoir été formé à cette opération. Il peut être validé par le dosage de la teneur en aflatoxine des lots de noix de coco acceptées.

#### **Étape 2: Plantation, ouverture des noix - BPA**

Les noix de coco sont fractionnées par moitiés, parfois en morceaux plus petits, juste avant le séchage. Il est conseillé de veiller à ce que la pulpe de la noix de coco soit protégée du contact avec le sol, riche en possibilités d'inoculation. Cela relève normalement des BPA.

#### **Étape 3: Plantation, séchage - Point critique n° 2**

Cette étape a été classée comme point critique, la mesure d'intervention consistant à sécher les noix en l'espace de 48 heures jusqu'à ce que la teneur en eau soit inférieure à la limite de sécurité. Cette mesure permettrait d'empêcher le développement de moisissures et la formation d'aflatoxine.

Des études contrôlées du séchage et du stockage ont permis de conclure que le séchage dans la fumée protégeait le coprah d'une contamination par l'aflatoxine. Il suffisait que la teneur résiduelle en eau soit inférieure ou égale à 16 pour cent pour que le produit se conserve convenablement, alors que le séchage à l'air chaud ou au soleil devait être fait uniformément et jusqu'à ce que la teneur en eau n'atteigne plus que 12 pour cent au maximum pour empêcher la contamination par l'aflatoxine. Ces paramètres de teneur en eau sont obtenus en fixant des seuils critiques pour le temps de séchage. Selon le type de séchoir, le temps de séchage nécessaire pour atteindre la limite de sécurité et le programme de retournement du coprah seront différents. Il faut, par exemple, 24 heures pour sécher le coprah dans la fumée en retournant les morceaux toutes les huit heures. Les séchoirs à air chaud couramment utilisés prennent en revanche 30 heures et nécessitent un changement de position sur le lit toutes les 10 heures.

Les seuils critiques sont vérifiés par un contrôle de la durée du séchage et de la périodicité du retournement ou du déplacement des morceaux sur le lit du séchoir. Ils sont validés en mesurant la teneur en eau du produit.

#### **Étape 4: Négociant primaire, achat et séchage - BPF/BPS**

Un système national de classification prévoyant une prime pour le coprah de première qualité présentant moins de 1 pour cent de moisissure vert-jaune (caractéristique d'*Aspergillus flavus* ou *A. parasiticus*, qui produisent de l'aflatoxine) et une teneur en eau inférieure à 12 pour cent a été créé. Le fait que les négociants primaires achètent du coprah de première qualité et le conservent séparément du coprah de moindre qualité est considéré comme faisant partie des BPF.

Les négociants primaires achètent souvent, à moindre prix, du coprah de moindre qualité dont la teneur en eau peut atteindre 18 pour cent et qu'ils font sécher pour ramener cette teneur à 12 pour cent. Cette pratique laisse souvent le coprah garder pendant plus de 48 heures une teneur en eau supérieure à la limite de sécurité et augmente considérablement le risque de formation de moisissure et d'aflatoxine.

Les négociants primaires ne conservent le coprah que pendant une courte durée en attendant d'en avoir amassé suffisamment pour vendre à un négociant secondaire. De bonnes pratiques de stockage permettront de faire en sorte que le coprah reste sec.

#### **Étape 5: Négociants secondaires, achat et stockage - BPF/BPS**

L'achat de coprah de première qualité relève aussi des BPF à cette étape. Le coprah de cette qualité doit être conservé séparément des autres qualités et commercialisé comme coprah à faible teneur en aflatoxine.

De bonnes pratiques de stockage, consistant par exemple à stocker sur palettes dans des entrepôts bien ventilés et dotés d'une toiture saine, empêchent la réhumidification du coprah et sa contamination ultérieure par des moisissures et des aflatoxines (Head S. W., 1999).

Le coprah de qualité inférieure sèche en magasin et les colonies de moisissures se succèdent jusqu'à ce qu'il ait atteint la teneur en eau de 12 pour cent. À ce stade, le coprah n'est plus visiblement moisi et ne présente aucun signe de moisissure vert-jaune, mais sa surface est piquée, signe de pénétration des moisissures qui permet de le différencier.

#### **Étape 6: Huileries, achat - BPF**

L'achat de coprah de première qualité, indispensable pour la fabrication de sous-produits contenant des teneurs acceptables en aflatoxine, est considéré comme faisant partie des BPF. Il convient de noter que la classification selon la moisissure tient maintenant compte du coprah dont la surface est piquée.

Les huileries tendent à acheter et à stocker de grandes quantités de coprah. Pour autant que le coprah ait une teneur en eau ne dépassant pas 12 pour cent, il ne subira pas de formation d'aflatoxine si les bonnes pratiques en matière de stockage sont appliquées. Il importe cependant d'avoir des locaux bien aérés, car des "points chauds" peuvent se former et aller jusqu'à la combustion spontanée.

### **Étape 7: Huilerie: extraction mécanique et chimique, granulation - point critique n° 3**

Aucune mesure n'est nécessaire pour empêcher la formation d'aflatoxine pendant le pressage et l'extraction de l'huile par solvant. En fait, les températures utilisées pendant le pressage stérilisent la pulpe de coprah, détruisant les spores fongiques et, par conséquent, le risque de contamination ultérieure.

La formation des pellets, à l'étape 7, a été définie comme point critique et un seuil critique fixé à 12 pour cent d'humidité dans les pellets refroidis. L'insuffisance de refroidissement ou d'aération des pellets entraîne une teneur en eau inacceptable. Pour un procédé donné, les seuils critiques sont le temps de passage dans la tour de refroidissement et le débit d'air, et leur contrôle consistera à mesurer ces deux paramètres. Le seuil critique est validé en déterminant régulièrement la teneur en eau des pellets refroidis.

Le coprah en forme de pellets est stocké soit dans des sacs, soit en vrac jusqu'à ce qu'il puisse être expédié. De bonnes pratiques en matière de stockage empêcheront toute contamination ultérieure par l'aflatoxine.

### **Étape 8: Expédition - BPF/BPS**

Aucune augmentation des teneurs en aflatoxine n'est susceptible de se produire durant l'expédition à condition que la teneur en eau du sous-produit du coprah au moment du chargement soit inférieure ou égale à 12 pour cent et que le produit ne soit pas endommagé par l'eau de mer. Des pratiques telles que celle d'ouvrir les hublots par beau temps contribuent à réduire encore le risque de formation de moisissure.

Plusieurs expéditions de sous-produits de coprah ont été suivies attentivement sans qu'il ait été constaté d'augmentation des teneurs en aflatoxine.

#### ***Tâche 11: Établir des procédures de vérification***

Des méthodes de validation doivent être établies à chaque point critique, comme indiqué ci-dessus, et la vérification générale se compose de l'ensemble des valeurs quantitatives des teneurs en aflatoxine mesurées sur les échantillons prélevés avant chargement immédiatement avant l'exportation.

Le plan HACCP est contrôlé chaque trimestre et modifié s'il en est besoin.

#### ***Tâche 12: Tenir un dossier et des documents de bord***

Le Plan HACCP doit être accompagné d'une documentation complète comprenant aussi les données enregistrées sur la plantation et auprès du négociant primaire.

**Tableau 8. Feuille de travail pour un plan HACCP, Sous-produit du coprah en Asie du Sud-Est**

Étape du procédé	Description du risque	Mesures d'intervention possibles	Point critique?	Seuil critique	Méthode de contrôle	Mesure corrective	Dossier
1 Plantation Récolte/décorticage	Moisissure	Choisir uniquement des noix saines	Point critique n° 1	Absence de fissure visible	Inspection des coques	Jeter les noix fendues	Cultivateur
2 Plantation Ouverture		Éviter la contamination des sols	BPA	Absence de terre sur la pulpe	Inspection des noix	Laver pour éliminer la terre	Cultivateur
3 Plantation Séchage	Moisissure	Sécher en moins de 48 heures après l'ouverture jusqu'à la teneur limite en eau	Point critique n°2a	Mettre au séchoir moins de 12 heures après avoir ouvert les noix	Délai écoulé avant séchage	Jeter les noix qui ont dépassé le délai	Cultivateur
		a) Séchage dans la fumée jusqu'à une teneur en eau <=16% aucune partie >17%		Sécher pendant au moins 24 heures	Durée du séchage	Parfaire le séchage/jeter	Cultivateur
		ou b) Séchage à l'air chaud jusqu'à une teneur en eau <=12% aucune partie >13%	Retourner le coprah toutes les 8 heures	Programme de retournement	Retourner aussitôt après	Cultivateur	
			Sécher pendant au moins 30 heures	Durée du séchage	Parfaire le séchage/jeter	Cultivateur	
		Changer la position sur le lit toutes les 10 heures		Programmer le déplacement	Déplacer aussitôt après		
4 Négociant primaire Achat/ Séchage	Moisissure	Système national de classement Acheter du coprah de 1er choix		BPF/BPS			
5 Négociants secondaires Achat/ Stockage	Moisissure	Système national de classement Acheter du coprah de 1er choix		BPF/BPS			
6 Huilerie Achat/		Système national de classement Acheter du coprah de 1er choix		BPF/BPS			
7 Huilerie Extraction mécanique/ granulation	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE	Contrôler l'humidité du produit granulé pendant le refroidissement et l'aération	Point critique n°3	Teneur finale en eau <=12%	Détermination de la teneur en eau d'échantillons représentatifs	Continuer le refroidissement/ l'aération pour sécher	Dossier de fabrication
8 Expédition Exportation	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE	Empêcher la réhumidification pendant l'expédition		BPF/BPS			

#### Références

- Andanar, W. (1991). 'Improvements in coconut growing and processing methods in the Philippines'. *CBI News Bulletin* **180** 23-4
- Anon. (1993). 'Aflatoxin project in the Philippines' *Cocomunity* **23**, 6.
- Head, S. W., Swetman, A. A., Nagler, M. J. (1999). 'Studies on deterioration and aflatoxin contamination in copra during storage'. *OCL* **6** (3)



## Exemple n° 4: Beurre d'arachide de production commerciale, Afrique australe

### Introduction

Le système de produit représenté ici est analogue aux systèmes que l'on rencontre fréquemment en Afrique subsaharienne, où la production d'arachides à petite échelle est pratiquée en combinaison avec la fabrication commerciale de beurre d'arachide.

La culture commerciale à petite échelle ou paysanne est généralement pratiquée avec des cultivars à végétation courte, nécessitant peu d'intrants, pendant la saison des pluies et sans irrigation. Ces cultivars sont souvent plus résistants à l'aflatoxine que les cultivars à végétation longue.

Le beurre d'arachide est fabriqué à partir des graines d'arachide qui sont grillées, broyées et malaxées. On y ajoute des émulsifiants pour que l'huile libérée par le broyage reste en suspension. Les systèmes de transformation des arachides sont très complexes, ils comprennent diverses chaînes de fabrication produisant des produits de spécifications différentes. Dans le présent exemple, une seule chaîne de produit est étudiée.

### Tâche 1 - L'équipe HACCP

L'équipe HACCP comprend un spécialiste de la méthode, un directeur de production, le directeur de l'assurance qualité de l'usine, un mycologue, un mycotoxicologue, un spécialiste du produit, un socioéconomiste, un agronome et des représentants des secteurs du négoce et de l'exportation.

### Tâches 2 et 3 - Description et utilisation prévue du produit

On trouvera au tableau 9 la description du produit et son utilisation prévue.

**Tableau 9. Description et utilisation prévue du produit final**

<b>Nom du produit</b>	Beurre d'arachide
<b>Description</b>	Beurre d'arachide contenant des émulsifiants et des additifs pour obtenir des produits de type A et de type B
<b>Conditions de conservation</b>	À température ambiante, au domicile du consommateur
<b>Durée de conservation</b>	Type A: 5 mois Type B: 3 mois
<b>Utilisation prévue</b>	Type A: à consommer frais Type B: à utiliser dans la cuisine
<b>Emballage</b>	Pot en verre avec couvercle scellé
<b>Spécifications du client</b>	Type A: Pâte lisse, onctueuse, sans odeur désagréable Type B: Pâte ferme ayant une teneur totale en aflatoxine inférieure à 20 µg/kg (spécification applicable au marché américain et au marché local)
<b>Utilisateur visé</b>	Consommation familiale, en particulier par les enfants en bas âge

### Tâches 4 et 5 - Schéma du produit (vérifié)

On trouvera à la figure 11 le schéma du produit tel qu'il a été établi et vérifié.

**Figure 11. Schéma du produit: beurre d'arachide en Afrique australe**

<b>Étape</b>		<b>Classification</b>
1)	<b>Exploitation agricole</b> Culture en plein champ	Sel Émulsifiants BPA
2)	<b>Exploitation agricole</b> Récolte: couper les racines pivotantes à la main ou à la machine et tirer par les fanes	BPA
3)	<b>Exploitation agricole</b> Andenner - retourner	<b>Point critique n°1</b>
4)	<b>Exploitation agricole</b> Sécher au soleil sur des bâches ou des claies	<b>Point critique n°2</b>
5)	<b>Exploitation agricole</b> Trier en séparant les gousses des fanes	<b>Point critique n°3</b>
6)	<b>Exploitation agricole</b> Stocker en gousses dans des sacs	BPA
7)	<b>Négociant/transformateur</b> Ramassage	BPF
8)	<b>Négociant/transformateur</b> Décortiquer, calibrer	BPF
9)	<b>Usine</b> Recherche d'aflatoxine	<b>Point critique n° 4</b>
10)	<b>Usine</b> Griller	BPF
11)	<b>Usine</b> Tri manuel	BPF
12)	<b>Usine</b> Broyer	
13)	<b>Usine</b> Emballer	BPF

**Tâche 6: Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et détermination des mesures permettant de les limiter**

#### **Analyse des risques de contamination par les mycotoxines**

##### **a) Identification**

L'aflatoxine étant la seule mycotoxine dont la teneur dans les arachides soit réglementée au niveau de la région, c'est la seule mycotoxine qui ait été étudiée. C'est aussi la principale mycotoxine affectant les arachides.

**b) Détermination des étapes du schéma de produit auxquelles la contamination par les mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

**Étape 1: Sur l'exploitation agricole, avant la récolte**

Avant la récolte, le développement de moisissures du genre *Aspergillus* génératrices d'aflatoxine est lié au stress dû à la sécheresse et aux attaques d'insectes, deux facteurs difficiles à maîtriser sans le recours à l'irrigation et à des insecticides coûteux. Les attaques d'insectes constituent un point d'entrée pour les propagules des moisissures souvent transportées par l'insecte lui-même. Le stress dû à la sécheresse peut aussi provoquer un éclatement des gousses dans le sol qui expose les graines à l'action de la microflore du sol.

**Étape 2: Sur l'exploitation agricole, récolte**

Une nouvelle formation de moisissure du genre *Aspergillus* est peu probable pendant la récolte.

**Étapes 3 et 4: Sur l'exploitation agricole, séchage en andains et à plat au soleil**

Un développement de moisissure peut se produire à ces étapes si la teneur en eau n'est pas rapidement ramenée à une valeur sans risque.

**Étape 5: Sur l'exploitation agricole, séparation des gousses et des fanes**

Une nouvelle formation de moisissure du genre *Aspergillus* est improbable au moment de la séparation des gousses et des fanes.

**Étapes 6 à 8: De l'exploitation agricole au négociant ou au transformateur**

Aucune contamination par l'aflatoxine ne devrait se produire à ces étapes si le produit est convenablement stocké et manipulé.

**Étape 9: À l'usine, recherche de l'aflatoxine sur les lots de graines d'arachides à l'arrivée**

Il n'y a aucun risque de contamination à cette étape.

**Étape 10: À l'usine, grillage**

Il n'y a aucun risque de contamination à cette étape.

**Étape 11: À l'usine, tri manuel**

Il n'y a aucun risque de contamination à cette étape.

**Étapes 11 et 12: À l'usine, broyage et emballage**

Il n'y a aucun risque de contamination à cette étape.

**c) Mesures permettant d'empêcher la contamination par les mycotoxines**

Pour éviter la contamination avant la récolte, les mesures les plus efficaces comporteront des méthodes relevant des BPA, qui permettent d'éviter la formation de moisissures. Elles consisteront à empêcher le stress dû à la sécheresse et les attaques d'insectes, à utiliser des variétés résistant aux champignons (s'il en existe), à employer des engrais et à désherber. L'emploi d'agents de lutte biologique tels que les souches non toxigènes d'*Aspergillus flavus* a été expérimenté aux États-Unis et en Australie mais n'a pas encore été reconnu comme une pratique pleinement valable.

Immédiatement après la récolte, il est indispensable de sécher les arachides aussi vite que possible pour ramener leur teneur en eau en deçà d'une limite de sécurité (inférieure ou égale à 0,82). Les méthodes de séchage artificiel ne sont guère répandues en Afrique australe où l'on sèche généralement les arachides au soleil sur leurs tiges en alternant le séchage en andains et le séchage à plat.

Une autre mesure d'intervention consiste à séparer les graines contaminées pendant la récolte, le séchage et la cueillette. La dernière opération de ségrégation est l'inspection de chaque lot d'arachides par prélèvement d'échantillons qui sont analysés pour rechercher l'aflatoxine, et le rejet des lots par trop atteints.

### **Définition d'un plan HACCP, tâches 7 à 10**

On trouvera au tableau 10 une feuille de travail résumant le plan HACCP relatif au beurre d'arachide.

#### **Étape 1: Sur l'exploitation, avant la récolte - BPA**

Les BPA empêchent le développement de moisissures avant la récolte, bien que les effets d'une météorologie défavorable (sécheresse, pluies prolongées) puissent être extrêmement difficiles, voire impossibles, à maîtriser.

#### **Étape 2: Sur l'exploitation, récolte - BPA**

Ici encore, les BPA empêcheront le développement de moisissures avant la récolte. Il importe de bien choisir le moment de la récolte pour que les arachides soient récoltées dès qu'elles arrivent à maturité. Il importe aussi de ne pas endommager les gousses pendant la récolte pour maintenir les graines dans un milieu protecteur.

#### **Étapes 3 et 4: Sur l'exploitation, séchage en andains et au soleil - Points critiques n° 1 et 2**

Ces étapes constituent toutes deux des points critiques du fait qu'une attaque de moisissures avec production d'aflatoxine peut se produire rapidement si les arachides n'ont pas séché assez rapidement jusqu'à ce que leur humidité relative se situe en deçà d'une limite de sécurité ( $a_w$  inférieure ou égale à 0,82). La combinaison précise de la teneur en eau et de la durée maximale de séchage varie en fonction de la variété d'arachide et de la zone agroclimatique, et doit être déterminée à l'aide des savoirs locaux. Il est suggéré d'effectuer un premier séchage en andains qui permette de ramener la teneur en eau à 12 pour cent au maximum, et une seconde phase de séchage sur une surface plane pour la réduire à 7 pour cent maximum. Toutefois, la moisissure et la production d'aflatoxine peuvent encore se produire si ces teneurs limites ne sont pas atteintes assez rapidement.

#### **Étape 5: Sur l'exploitation, tri pendant la séparation des gousses et des fanes - Point critique n° 3**

La mesure d'intervention est le rejet des gousses décolorées, moisies ou endommagées pendant que l'on sépare les gousses des fanes. Le seuil critique est déterminé par le pourcentage maximal de gousses inacceptables susceptibles d'être retirées pendant la récolte. Pour cet exemple, on a supposé qu'il était raisonnable d'envisager que 95 pour cent des gousses inacceptables soient retirées.

#### **Étapes 6 à 8: De l'exploitation au négociant ou au transformateur - BPA**

Stocker et manipuler avec soin les gousses et les graines font partie des BPA et des BPF. Il est néanmoins indispensable de maintenir les arachides propres, sèches et entières durant ces étapes si l'on veut éviter la contamination.

#### **Étape 9: À l'usine, recherche d'aflatoxine sur les lots de graines d'arachides à l'arrivée**

L'étape 9 est un point critique où l'on sépare les lots d'arachides qui contiennent une quantité inacceptable d'aflatoxine B1. La teneur en aflatoxine de chaque lot de graines est déterminée par prélèvement d'un échantillon représentatif de 20 kg au moins qui est soumis à une recherche d'aflatoxine à l'aide d'un dispositif simple d'essai semi-quantitatif. (Bien entendu, on peut utiliser des méthodes d'analyse plus compliquées telles que la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) si l'on en a la possibilité). Le seuil critique est représenté par la teneur acceptable en aflatoxine B1 permettant d'atteindre, après les étapes 10 et 11, la teneur limite de 20 µg/kg. Dans cet exemple, l'équipe HACCP a estimé que le seuil critique devait être fixé à 30 µg d'aflatoxine B1 par kg.

Dans une situation on l'on estime que la contamination précédant la récolte a été maîtrisée ou représente un problème négligeable, l'étape 9 peut éventuellement être utilisée comme élément de la procédure de vérification.

#### **Étape 10: À l'usine, grillage - BPF**

Le grillage des graines d'arachide dans des conditions appropriées est considéré comme faisant partie des BPF. Toutefois, le grillage peut entraîner l'élimination de 20 à 30 pour cent de l'aflatoxine selon le mode opératoire utilisé.

#### **Étape 11: À l'usine, tri manuel - BPF**

Cette opération a pour principal objectif de retirer les graines brûlées, qui ont un effet préjudiciable sur la qualité du beurre d'arachide. L'étape 11 constitue aussi la dernière possibilité de retirer les graines manifestement racornies ou abîmées avant le broyage et, par la même occasion, de réduire la teneur du produit final en aflatoxine. L'équipe HACCP hésitait sur le point de savoir si le tri manuel *après* le grillage pouvait avoir un effet sensible sur la teneur en aflatoxine et n'a donc pas défini l'étape 11 comme un point critique. Cette étape le deviendrait néanmoins si, par la suite, des études montraient clairement que le tri manuel était un moyen efficace de réduire l'aflatoxine.

#### **Étapes 12 et 13: À l'usine, broyage et emballage - BPF**

La qualité du broyage et de l'emballage relève des BPF. Le broyage, qui permet de transformer les graines en pâte, aura pour effet de répartir l'aflatoxine dans le produit final mais pas d'en modifier la quantité.

#### ***Tâche 11: Établir des procédures de vérification***

Une procédure de vérification est définie à chaque point critique et le plan HACCP est régulièrement révisé et modifié si besoin est.

#### ***Tâche 12: Tenir un dossier et des documents de bord***

Le Plan HACCP doit être accompagné d'une documentation complète et les données relatives aux points critiques doivent être dûment consignées.

**Tableau 10 - Feuille de travail pour un plan HACCP: Beurre d'arachide produit en Afrique australe**

Étape du procédé	Description du risque	Mesures d'intervention possibles	Contrôle	Seuils critiques	Procédures de surveillance	Mesures correctives	Dossier
1 Exploitation agricole: Culture	ATTAQUE DE MOISSURE	<p>Limiter le stress dû à la sécheresse et les attaques des insectes</p> <p>Emploi d'engrais</p> <p>Emploi de variétés résistantes</p>	BPA				
2 Exploitation agricole: Récolte: couper les racines pivotantes et arracher les fanes	ATTAQUE DE MOISSURE	<p>Récolter dès maturité</p> <p>Enlever et brûler les plants malades</p> <p>Protéger les fanes de la pluie</p> <p>Éviter d'abîmer les gousses</p>	BPA				
3 Exploitation agricole Séchage en andains	ATTAQUE DE MOISSURE	Sécher pour ramener la teneur en eau sous la limite de sécurité (ex. ≤12%)	<b>Point critique n° 1</b>	Déterminer localement la teneur limite en eau et la durée maximale du séchage	Durée du séchage	Enlever les arachides moisies	Dossier de l'agriculteur
4 Exploitation agricole: Séchage au soleil sur des bâches ou des claies	ATTAQUE DE MOISSURE	Sécher pour ramener la teneur en eau sous la limite de sécurité (ex. ≤7%)	<b>Point critique n°2</b>	Déterminer localement la teneur limite en eau et la durée maximale du séchage	Inspection des caractères physiques de l'arachide, par exemple bruit caractéristique des graines brisées lorsque l'on secoue la gousse	Enlever les arachides moisies	Dossier de l'agriculteur
5 Exploitation agricole: Tri pendant la séparation des gousses et des fanes	ATTAQUE DE MOISSURE	<p>Éviter d'abîmer les gousses</p> <p>Jeter les gousses inacceptables</p>	<b>Point critique n°3</b>	Laisser ≤ 5% de gousses inacceptables	Inspection visuelle des gousses pendant la séparation d'avec les fanes	Trier à nouveau les gousses et retirer les gousses inacceptables	Dossier de l'agriculteur
6	ATTAQUE DE	Tenir les gousses	BPA				

Exploitation agricole: Stocker en gousse dans des sacs	MOISSURE	propres et sèches					
7 Négociant/transformateur: Ramassage	ATTAQUE DE MOISSURE	Tenir les gousses propres et sèches	BPA				
8 Négociant/transformateur: Décortiquer et calibrer	ATTAQUE DE MOISSURE	Tenir les gousses et les graines propres et sèches	BPA				
9 Usine: inspection	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE	Prélever sur les lots à l'arrivée un échantillon représentatif de 20kg et faire une recherche d'aflatoxine	<b>Point critique n°4</b>	Aflatoxine B <sub>1</sub> ≤ 30 µg/kg	Recherche de l'aflatoxine à l'aide d'un test rapide	Rejeter les lots qui ne sont pas conformes aux spécifications pour l'aflatoxine	Dossier de fabrication
10 Usine: grillage	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE	Griller à la température appropriée	BPF				
11 Usine: tri à la main	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE	Retirer à la main les graines racornies ou brûlées	BPF				
12 Usine: broyage	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE	Veiller à la propreté du matériel	BPF				
13 Usine: emballage	CONTAMINATION PAR L'AFLATOXINE	Utiliser un emballage propre et hermétique	BPF				

## Exemple n° 5: Jus de pomme (boisson à la pomme) - Amérique du Sud

### Introduction

Il existe un risque important que les teneurs en patuline du jus de pomme produit en Amérique du Sud dépassent la limite de 50 µg/kg. Dans une étude menée au Chili sur le jus de pomme (Canas P., 1996), on a trouvé que cette limite était dépassée dans 28 % des échantillons de jus de pomme et de jus de pomme concentré.

Le jus de pomme fabriqué en Amérique latine diffère de celui qui est produit en Europe par ce qu'il est additionné de saccharose et d'eau, et par l'utilisation d'un conservateur, le métabisulfite de sodium.

### Tâche 1 - L'équipe HACCP

L'équipe HACCP comprend normalement un conseiller HACCP, un mycotoxicologue, un mycologue, le directeur de l'assurance de qualité de l'usine de transformation, un ingénieur des méthodes, des représentants des cultivateurs et du Ministère de l'agriculture, et un secrétaire scientifique. Un spécialiste de la production de jus de fruits et de la législation est consulté au gré des besoins.

### Tâches 2 et 3 - Description et utilisation prévue du produit (vérifié)

Ces renseignements figurent dans le tableau 11.

**Tableau 11. Description et utilisation prévue du produit final**

<b>Nom du produit</b>	Jus de pomme
<b>Description</b>	Jus de pomme titrant 13° Brix en sucre, additionné de sucre, d'un conservateur (métabisulfite de sodium) et d'eau, filtré sur filtre de 5 microns et pasteurisé à 90°C pendant 2 minutes
<b>Conditions de conservation</b>	En cuve réfrigérée jusqu'au traitement. À température ambiante après traitement.
<b>Durée de conservation</b>	Six mois à température ambiante. Une fois entamé, à conserver au frais et à consommer dans un intervalle de 4 jours.
<b>Utilisation prévue</b>	Consommation sans autre chauffage
<b>Emballage</b>	Bouteille en verre ou boîte cartonnée d'1 litre
<b>Spécifications du client</b>	Acidité importante pour le goût du produit. Conforme aux recommandations pour les valeurs microbiennes et les mycotoxines
<b>Consommateur visé</b>	Consommation locale et exportation. Toutes les tranches d'âge.

### Tâches 4 et 5 - Schéma du produit (vérifié)

Le schéma du produit est établi et vérifié par une série de visites dans les vergers et à l'usine de traitement. La figure 12 présente un schéma de produit représentatif.

**Figure 12. Schéma du processus HACCP: Jus de pomme**

### Étape

Métabisulfite de sodium  
Solution de sucre

1) **Exploitation agricole**

BPA



Culture	
2) <b>Exploitation agricole</b> Récolte	Point critique n°1
3) <b>Exploitation agricole</b> Stockage en vrac	BPA/BPS
4) <b>Transport</b> Transport en vrac	BPA/BPS
5) <b>Usine</b> Achat	BPF
6) Tri	Point critique n°2
7) Lavage	Point critique n°3
8) Stockage en vrac des pommes entières	Point critique n°4
9) Pressage, extraction du jus	BPF
10) Filtration	Point critique n°5
11) Pasteurisation	Point critique n°6
12) Remplissage en asepsie	BPF
13) Stockage et répartition	BPF

***Tâche 6 - Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et détermination des mesures permettant de les limiter***

**a) Identification des risques de contamination par les mycotoxines**

La patuline est la seule mycotoxine jugée présenter un risque dans ce produit. Plusieurs pays européens parmi lesquels la Suisse, la Belgique, l'Autriche et la France, ont adopté une limite de 50 µg/litre. La limite la plus basse est de 30 µg/litre en Roumanie.

**b) Détermination des étapes du schéma de produit auxquelles la contamination par les mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

Les étapes du schéma du produit seront examinées une à une.

La contamination par la patuline est susceptible de se produire pendant la culture au verger (étape 1) et durant le stockage en vrac (étape 3). Il existe ensuite peu de risque de contamination pendant le transport, mais si les pommes sont abîmées à cette étape, le risque de contamination ultérieure est accru.

À l'usine, la contamination par la patuline est le plus susceptible de se produire pendant le stockage, à l'étape 8.

À toutes les étapes de la chaîne du produit, la patuline peut être présente dans les pommes ou le jus qui en est issu. Il est donc important de limiter autant que possible la contamination et de ramener les taux de contamination au niveau acceptable.

### **c) Mesures permettant d'empêcher la contamination par la patuline**

La contamination du jus peut être empêchée aux étapes où les pommes pourries ou abîmées peuvent être éliminées du processus, soit dans le verger lorsque le fruit est récolté, soit durant le tri à l'usine.

La contamination par la patuline après la récolte peut être supprimée ou sensiblement réduite par un stockage à une température inférieure à 10°C pendant une durée limitée.

Le lavage, en particulier au jet sous pression, s'est avéré efficace pour supprimer la patuline des pommes.

La patuline peut aussi être éliminée du jus de pomme par filtration, celle-ci permettant d'éliminer la patuline attachée aux particules solides de pulpe de pomme.

L'inactivation des spores de *Penicillium expansum* pendant la pasteurisation à l'étape 11 réduit le risque de production de patuline dans le produit fini.

### **Tâches 7 à 10 : Définition d'un plan HACCP**

On trouvera au tableau 12 une représentation schématique du plan HACCP pour la patuline présente dans le jus de pomme. Dans le texte qui suit, le plan est développé par étape du schéma du produit.

#### **Étape 1: Exploitation agricole, culture dans le verger - BPA**

Le développement de la moisissure *Penicillium expansum* et la contamination par la patuline qui en résulte, peut se produire avant la récolte, lorsque les fruits sont abîmés ou trop mûrs. L'application de Bonnes pratiques agricoles permet de réduire les dégâts des insectes et des oiseaux.

#### **Étape 2: Exploitation agricole, récolte - Point critique n°1**

La mesure d'intervention à cette étape consiste à rejeter de manière efficace toutes les pommes pourries ou abîmées pendant la récolte. Les pommes pourries sont beaucoup plus susceptibles d'avoir des teneurs élevées en patuline que les pommes d'aspect sain. Dans une étude (Sydenham E.W., 1995), pas moins de 70 pour cent de la patuline présente dans un lot de pommes trop mûres a été éliminée par un tri et le rejet des pommes visiblement moisies. L'étape 2 est considérée comme point critique pour l'application de cette mesure parce que cela permet de ramener le taux de moisissure à un niveau acceptable. Il faut se garder de considérer l'effet de cette intervention sur les teneurs en patuline comme un résultat isolé du reste du système. L'équipe HACCP doit étudier les effets cumulés des interventions aux différents points critiques ultérieurs et juger si les teneurs en patuline du produit final risquent de dépasser les niveaux acceptables. L'équipe HACCP doit aussi tenir compte du fait qu'ôter les pommes moisies à cette étape réduira le risque de production ultérieure de patuline, en particulier pendant le stockage sur l'exploitation. Un autre tri est prévu à l'étape 6, et l'on pourrait faire valoir que le premier n'est pas indispensable, mais il y a de solides arguments en faveur du maintien des deux. Si le tri n'est pas fait à l'étape 2, la production de patuline est beaucoup plus importante à l'étape 3 et il faut transporter inutilement des fruits pourris. Il fait peu de doute que l'application de cette mesure d'intervention au point critique n° 1 est importante pour la production de jus de pomme contenant des teneurs acceptables en patuline.

Le seuil critique pour cette étape s'exprime en pourcentage de pommes visiblement moisies qui restent après le tri et il est déterminé par l'efficacité du tri que l'on peut raisonnablement attendre à ce stade. Dans le présent exemple, l'équipe HACCP a estimé que 99 pour cent des pommes pourries devaient

être ôtées à cette étape. La procédure est contrôlée par un chef d'équipe formé, et vérifié par un contrôle du niveau de qualité effectué sur des échantillons représentatifs.

### **Étape 3: Exploitation agricole, stockage en vrac - BPA**

L'application des BPA et des BPS est nécessaire pour réduire le pourrissement des fruits et la production de patuline qui en résulte pendant le stockage en vrac. Il importe que les pommes stockées soient saines et que la durée de stockage soit limitée au strict nécessaire, à moins que des installations réfrigérées ne soient utilisées.



**Tableau 12. Feuille de travail HACCP - Jus de pomme, Amérique du Sud**

Étape du procédé	Description du risque	Mesure d'intervention	Contrôle	Seuil critique	Méthode de surveillance	Mesure corrective	Dossier
1 Culture au verger	Moisissure / Ravageurs	Limiter les dégâts provoqués par les insectes et les oiseaux	BPA				
2 Verger Récolte	Moisissure	Ôter les pommes moisies ou abîmées  Éviter les salissures et la contamination du sol	Point critique n°1  BPA	<1% de pommes visiblement moisies	Inspection visuelle	Jeter	Dossier du cultivateur
3 Exploitation agricole Réfrigération et stockage en vrac	Moisissure	Réduire les facteurs de risque Manutention et stockage à <10°C pour réduire la formation de moisissures	BPA/ BPHo <sup>1</sup>	Tout le personnel doit être formé	Vérifier les dossiers de formation Affichage automatisé	Jeter Régler la température Vérifier le système de surveillance Inspecter les fruits	Dossier du cultivateur
4 Transport	Moisissure	Éviter d'abîmer les fruits et de les laisser moisir	BPA / BPHo				
5 Usine Achat	Moisissure	Inspecter et rejeter les lots de mauvaise qualité contenant plus de 10% de fruits moisies	BPF	<10% fruits abîmés	Vérifier la qualité sur un échantillon représentatif	Rejeter le lot	Dossier de fabrication
6 Usine Tri	Moisissure / Patuline	Ôter les pommes moisies	Point critique n°2	<1% de pommes visiblement moisies	Inspection visuelle d'échantillons	Jeter ou refaire le tri Adapter la méthode d'inspection	Enregistrement du % de rejets par l'opérateur
7 Usine Lavage	Moisissure / Patuline	Laver les fruits pour enlever la patuline. Supprimer les parties abîmées des fruits contenant de la patuline au jet sous pression	Point critique n°3	Temps de trempage critique et pression du jet	Durée du trempage; vérification régulière de la pression du jet	Renouveler l'opération de lavage	Dossier de fabrication
8 Usine Stockage en vrac	Moisissure / Patuline	Régler la température de l'entrepôt à <10°C et limiter la durée de stockage	Point critique n°4	Température <10°C ou durée du stockage <48 heures	Thermomètre Durée du stockage	Vérifier le système de contrôle Inspecter les fruits	Dossier de fabrication
9 Usine Pressage, extraction du jus	Moisissure / Patuline	Nettoyage Ségrégation des lots	BPF BPF				
10 Usine Filtration	Patuline Moisissure	Éliminer la patuline contenue dans les particules	Point critique n°5	Taille et qualité des particules restantes	Analyse au laboratoire	Débloquer ou remplacer le filtre Refiltrer le jus	Dossier de fabrication
11 Usine Pasteurisation	Moisissure	Détruire les spores de <i>Penicillium expansum</i>	Point critique n°6	Durée et température indiquées.	Affichage automatisé	Refaire la pasteurisation?	Dossier de fabrication
12 Usine Remplissage en asepsie			BPF				
13							

<sup>1</sup> BPHo = Bonnes pratiques horticoles

<b>Étape du procédé</b>	<b>Description du risque</b>	<b>Mesure d'intervention</b>	<b>Contrôle</b>	<b>Seuil critique</b>	<b>Méthode de surveillance</b>	<b>Mesure corrective</b>	<b>Dossier</b>
Usine Stockage et répartition			BPF				

#### **Étape 4: Transport - BPA**

Le risque de contamination pendant les voyages de courte durée est faible, mais tout dommage physique subi par les fruits pendant le transport, chargement et déchargement compris, les prédispose à des attaques ultérieures de moisissures et à une possibilité de contamination par la patuline. Il est donc nécessaire de manipuler convenablement les fruits.

#### **Étape 5: Achat par l'usine - BPF**

L'achat de lots de mauvaise qualité contenant un pourcentage élevé de fruits abîmés et pourris est à éviter. À la rigueur, s'il était suivi d'un tri, l'achat de pommes de mauvaise qualité serait admissible, mais les lots contenant plus de 10 pour cent de fruits pourris seront extrêmement difficiles à trier à la main et les teneurs en patuline que l'on risque de retrouver feront qu'il sera difficile d'arriver à une teneur acceptable dans le produit fini.

#### **Étape 6: Tri à l'usine - Point critique n° 2**

La mesure d'intervention est le tri, qui consiste à retirer les pommes visiblement pourries. Cette étape réduit le pourcentage de moisissure à un niveau acceptable et contribue grandement à obtenir une teneur en patuline acceptable dans le produit final. Le tri permet à la fois de jeter les pommes moisies laissées par le tri de l'étape 2 et d'ôter celles qui ont moisie aux étapes 3 et 4.

En ce qui concerne l'étape 1, le seuil critique à ce point est le pourcentage acceptable de pommes moisies subsistant après le tri, le contrôle étant effectué par un chef d'équipe formé.

#### **Étape 7: Lavage à l'usine - Point critique n° 3**

La mesure d'intervention consiste à laver les pommes en utilisant un jet à haute pression pour retirer la pulpe pourrie des pommes, et donc la patuline. Des études (Acar J., 1998, et Sydenham E.W., 1995) ont montré que le lavage effectué de cette manière permettait de retirer plus de la moitié de la patuline présente dans le fruit. Les seuils critiques valables à cette étape sont la pression du jet et la durée du lavage. La pression de l'eau est contrôlée par manomètre et la durée du lavage est chronométrée.

Les teneurs en patuline sont réduites à cette étape, mais les spores restent en suspension dans l'eau. Cette matière inoculable augmente le risque de formation de moisissure pendant le stockage en vrac.

#### **Étape 8: Stockage en vrac des pommes entières - Point critique n° 4**

La mesure d'intervention vise à empêcher la formation de moisissure et la production de patuline en abaissant la température de stockage. Si le stockage en entrepôt réfrigéré n'est pas possible, sa durée doit être aussi limitée que possible. Les seuils critiques sont soit une température de stockage inférieure ou égale à 10°C, soit une durée maximale de stockage à température ambiante de 48 heures. Les valeurs limites de température sont contrôlées à l'aide d'un thermomètre étalonné comportant de préférence un affichage graphique en continu, et la durée du stockage à l'aide d'un dispositif de chronométrage.

#### **Étape 9: Pression, extraction du jus - BPF**

Les Bonnes pratiques de fabrication garantissent que les presses sont régulièrement nettoyées pour empêcher la formation de dépôts de déchets de pommes moisies pouvant constituer une source de contamination par la patuline.

#### **Étape 10: Filtration - Point critique n° 5**

La mesure d'intervention consiste à ôter les particules fines riches en patuline qui restent en suspension dans le jus de pommes brut. Les recherches (Acar J., 1998) ont montré que l'on peut réduire de manière significative les teneurs en patuline par la filtration. La clarification traditionnelle au moyen d'un filtre rotatif à vide permet de réduire de 39 pour cent les teneurs en patuline, et l'ultrafiltration de 25 pour cent. Des seuils critiques sont fixés pour la taille et la quantité des particules subsistant dans le jus de pomme après filtration. Ces seuils critiques sont contrôlés par examen au microscope d'échantillons de jus de pomme.

### **Étape 11: Pasteurisation - Point critique**

Cette étape est un point critique pour la maîtrise des risques bactériens. On peut aussi la considérer comme un point critique pour la maîtrise de la patuline puisque la pasteurisation détruit les spores de *Penicillium expansum* et empêche donc tout développement ultérieur de moisissure et la production de patuline en culture immergée dans le jus de pomme.

Bien que les teneurs en patuline aient peu de chances d'être réduites de manière significative pendant la pasteurisation, le procédé détruit les spores fongiques et réduit donc le risque de production ultérieure de patuline.

### **Étape 12: Emballage en asepsie - BPF**

Après la pasteurisation, il importe d'empêcher la réintroduction de micro-organismes, y compris de spores fongiques, pendant l'emballage. Ces méthodes relèvent des BPF.

L'emballage, par exemple en boîtes cartonnées ou bouteilles en verre à couvercle hermétique, est choisi de manière à protéger le jus de la contamination par des micro-organismes.

### **Étape 13: Stockage et répartition - BPF**

Aucune contamination ultérieure n'est probable.

#### ***Tâche 11: Établir des procédures de vérification***

Le plan HACCP doit être contrôlé trimestriellement et modifié au besoin.

#### ***Tâche 12: Tenir un dossier et des documents de bord***

Le Plan HACCP doit être accompagné d'une documentation complète et les données relatives aux points critiques doivent être dûment consignées.

### **Références**

Acar, J., Gokman, V., Taydas, E. E. (1998). 'The effect of processing technology on the patulin content of juice during commercial apple juice concentrate production'. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung A-Food Research and Technology* **207**, 328-331.

Anon (1999). 'Guidance on the control of patulin in directly pressed apple juice.' Publication du Ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation du Royaume-Uni. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Ergon House, 17, Smith Square, London SW1P 3JR.

Canas, P., Aranda, M. (1996). 'Decontamination and inhibition of patulin-induced cytotoxicity.' *Environmental Toxicology & Water Quality* **11**, 249-253.



Sydenham, E. W., Vismer, H. F., Marasas, W. F. O., Brown, N., Schlechter, M., Vanderwesthuizen, L., Rheeder, J. P. (1995). 'Reduction of patulin in apple juice samples – influence of initial processing.' *Food Control* **6**, 195-200.

## Exemple n°6: Pistaches en Asie occidentale

### Introduction

Les pistaches sont cultivées pour la vente en Afghanistan, Iran, Irak et Turquie. Dans les trois premiers pays, les fruits sont habituellement écalés très tôt après la récolte et les graines sont stockées dans leur coque et traitées (filière rapide). En Turquie, les fruits sont conservés avec l'écale pendant de nombreux mois, voire des années (filière lente). L'écalage immédiat présente l'avantage de ne pas tacher la coque, mais a l'inconvénient d'exposer très tôt les pistaches dans leur coque ouverte aux spores d'*Aspergillus flavus* et d'*A. parasiticus* productrices d'aflatoxines.

La pistache est le noyau du fruit de *Pistacia vera*. Chaque fruit possède un noyau unique qui se compose d'une amande recouverte par un tégument et enfermée dans une coque, elle-même enveloppée d'une écale protectrice. Un mois ou plus avant maturité, la coque se fend à l'intérieur de l'écale. L'écale devrait demeurer intacte, mais il arrive qu'elle se déchire aussi naturellement avant la récolte, et l'ouverture précoce, ou de croissance, rend la graine particulièrement vulnérable à une contamination par l'aflatoxine. Elle permet l'infestation par des insectes, en particulier le ver de l'orange [*Amyelios transitella* (Walker)] et les graines infestées présentent un risque élevé de contamination par l'aflatoxine.

Différentes variétés de pistachiers sont cultivées dans la région. En Iran, en Irak et en Afghanistan, on a tendance à cultiver des variétés qui donnent de grosses pistaches dont les coques s'ouvrent assez précocement, bien que les facteurs climatiques aient aussi une influence à cet égard. En Turquie, les pistaches sont plus petites, avec une amande plus verte et une coque dont l'ouverture est peu précoce.

L'écalage peut être effectué par un procédé humide ou sec. Le procédé humide est utilisé dans les usines grandes ou moyennes, le procédé sec est essentiellement artisanal.

Il est particulièrement difficile de prélever un échantillon représentatif de pistaches pour effectuer une recherche d'aflatoxine parce que l'on a constaté que l'incidence des fruits fortement contaminés était habituellement très faible, de l'ordre d'un fruit sur 10 000 ou 30 000 (ou plus). Cela veut dire que même un échantillon de 30 kg, comme le préconise l'Union européenne, peut ne contenir qu'une pistache contaminée. Pourtant, les pistaches peuvent avoir des teneurs en aflatoxines très élevées, atteignant 1 000 000 ng, de sorte qu'une seule pistache contaminée peut donner un taux de contamination de 33 µg/kg (parties par milliard) dans un échantillon de 30 kg.

Les pistaches sont exportées sous des formes multiples: pistaches crues entières destinées à être transformées, pistaches grillées et salées avec ou sans colorant rouge, graines destinées à l'industrie agroalimentaire.

Cet exemple s'appuie sur deux études portant sur le système de production des pistaches dans l'ensemble de la région. Le procédé illustré ici est le procédé d'écalage humide suivi d'une séparation par flottation. Bien que la réhumidification entraîne un risque supplémentaire de contamination par l'aflatoxine, ce risque peut être éliminé par l'usage de séchoirs mécaniques efficaces. En l'absence de tels séchoirs, c'est le procédé sec qui doit être utilisé.

Les codes censés être appliqués sont les BPA, les BPS, les BPF et, plus spécifiquement, le Code d'usages international recommandé en matière d'hygiène pour les fruits à coque (CAC/RCP 6-1972) (FAO/OMS, 1994b), qui décrit les conditions élémentaires d'hygiène à appliquer au verger, au traitement artisanal et à la transformation pour la vente.

### Tâche 1 - L'équipe HACCP

L'équipe HACCP comprend normalement un spécialiste de la méthode, le directeur d'usine, le directeur de l'assurance qualité de l'usine, un mycotoxicologue, un mycologue, un spécialiste des fruits

à coque comestibles, le directeur du service des achats, le directeur du laboratoire, un socioéconomiste et des représentants du Ministère de l'agriculture, des cultivateurs, des négociants et des exportateurs du secteur privé.

**Tâches 2 et 3 - Description et utilisation prévue du produit**

On trouvera au tableau 13 la description et l'utilisation prévue du produit.

**Tableau 13 : Description et utilisation prévue des pistaches**

<b>Nom du produit</b>	Pistaches pour la confiserie
<b>Description</b>	Pistaches fendues, grillées et salées
<b>Cahier des charges du client</b>	Coques ouvertes, blanches ou teintées en rouge. Absence de graines visiblement moisies et de graines rances. Teneur limite en aflatoxine, par exemple 2 µg/kg pour l'aflatoxine B1 et 4 µg/kg pour l'aflatoxine totale (limites de l'UE)
<b>Conditions de conservation (produit fini)</b>	À température ambiante, mais de préférence inférieure ou égale à 10°C pour une conservation de longue durée
<b>Durée de conservation</b>	1 an
<b>Utilisation prévue</b>	Confiserie, petite collation
<b>Emballage</b>	Emballage plastifié scellé sous vide ou sous azote
<b>Consommateurs visés</b>	Europe et États-Unis

La teneur limite est inférieure ou égale à 2 µg d'aflatoxine B1 par kg pour les pistaches exportées vers l'UE, et inférieure ou égale à 20 µg d'aflatoxine totale par kg pour l'exportation vers les États-Unis.

**Tâches 4 et 5: Schéma du produit (vérifié)**

La figure 13 montre le schéma du produit qui a été établi et vérifié.

**Figure 13. Schéma du procédé HACCP: Pistaches grillées, Asie de l'Ouest**

Étape	Classification
1) <b>Exploitation agricole</b> Avant la récolte	
2) <b>Exploitation agricole</b> Récolte	Point critique n°1
<b>Filière lente (étapes 2 à 7)</b>	
3) <b>Exploitation agricole</b>	BPS
4) Stockage des pistaches avec l'écale	<b>Filière rapide</b> Arrivée à l'usine en moins de 8 heures (de l'étape 2 directement à l'étape 7)
5) <b>Négociant primaire ou secondaire</b> Stockage des pistaches avec l'écale	BPS
6) <b>Usine</b> Achat des pistaches avec l'écale Stockage des pistaches avec l'écale	BPS

- |     |   |                    |
|-----|---|--------------------|
| 7)  | <b>Usine</b><br>Écalage                                       | BPF                |
| 8)  | <b>Usine</b><br>Flottation                                    | Point critique n°3 |
| 9)  | <b>Usine</b><br>Séchage mécanisé<br>Entrepôt (filiale rapide) | Point critique n°4 |
| 10) | <b>Usine</b><br>Stockage<br>Tri manuel                        | Point critique n°5 |
| 11) | <b>Usine</b><br>Grillage et salage                            | BPF                |
| 12) | <b>Usine</b><br>Recherche d'aflatoxine et classement          | Point critique n°6 |
| 13) | <b>Usine</b><br>Emballage                                     | BPF                |
| 14) | <b>Usine</b><br>Stockage                                      | BPF                |
| 15) | <b>Usine</b><br>Transport/expédition                          | BPF                |

Note: Généralement, les usines achètent et transforment soit dans la filière lente, soit dans la filière rapide, mais pas dans les deux en même temps.

***Tâche 6: Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et détermination des mesures permettant de les limiter***

**Analyse des risques de contamination par les mycotoxines**

**a) Identification**

L'aflatoxine est la seule mycotoxine dont la teneur dans les fruits à coque soit réglementée dans l'UE et aux États-Unis, et c'est donc la seule qui ait été étudiée ici.

**b) Détermination des étapes du schéma du produit auxquelles la contamination par les mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

**Étape 1: Sur l'exploitation agricole, avant la récolte**

C'est généralement à cette étape que se produit l'essentiel de la contamination, lorsque l'écale s'est rompue (Doster M.A., 1995). La rupture peut être à l'ouverture précoce de la coque à laquelle l'écale ne peut s'adapter, ou à la croissance du noyau. Le problème des pistaches ouvertes se complique avec l'infestation par les insectes, en premier lieu le ver de l'orange, qui en est la conséquence.

**Étape 2: Récolte sur l'exploitation**

La contamination par l'aflatoxine peut se produire à cette étape si l'on fait la récolte en laissant les pistaches tomber naturellement à terre et en attendant trop avant de les ramasser. Elles peuvent être prédisposées à une attaque ultérieure de moisissure et une contamination par l'aflatoxine lorsque l'on récolte en secouant l'arbre pour ramasser les pistaches. L'écale peut se déchirer, ce qui permet la pénétration de spores fongiques.

**Les étapes 3 à 8 constituent la "filiale lente" de la production.**

### **Étape 3: Séchage sur l'exploitation des pistaches dans leur écale**

Cette étape a pour but de réduire le risque de contamination en séchant les pistaches pour ramener leur teneur en eau en deçà de la limite de sécurité.

### **Étape 4: Stockage sur l'exploitation des pistaches dans leur écale**

La contamination par l'aflatoxine est possible si les graines sont entreposées avec une teneur en eau supérieure à la limite de sécurité, surtout si leur écale est abîmée.

### **Étape 5: Négociant primaire et secondaire**

La contamination par l'aflatoxine est possible, surtout si les pistaches ont été achetées à un cultivateur au moment de la récolte.

### **Étape 6: Achat par l'usine et stockage des pistaches dans leur écale (filiale lente)**

Le risque de contamination est faible à cette étape du fait que les graines ont généralement eu le temps de sécher suffisamment pour atteindre une teneur en eau sans risque.

### **Étape 7: Écalage à l'usine**

#### **a. Filiale lente**

Les pistaches écalées sont généralement traitées sans délai et il n'y a pas de risque de contamination à cette étape.

#### **b. Filiale rapide (pistaches provenant directement des exploitations)**

Le procédé humide d'écalage prédispose les pistaches à une contamination ultérieure par l'aflatoxine (voir l'étape 10).

### **Étape 8: Flottation à l'usine**

Les teneurs en aflatoxine sont sensiblement réduites à cette étape.

### **Étape 9: Séchage à l'usine (et stockage dans la filiale rapide)**

Aucune contamination n'est susceptible de se produire à cette étape à condition que les pistaches puissent être séchées complètement, de sorte que leur teneur en eau atteigne la valeur de sécurité en 24 heures. Un séchage insuffisant rend les pistaches de la filiale rapide susceptibles d'être contaminées pendant leur stockage ultérieur.

### **Étape 10: Tri à l'usine**

Les teneurs en aflatoxine sont sensiblement réduites à cette étape.

### **Étape 11: Grillage et salage**

Aucune contamination par l'aflatoxine n'est possible à cette étape. Le grillage réduirait plutôt les teneurs en aflatoxine.

#### **Étape 12: À l'usine, recherche de l'aflatoxine et classement**

Aucun risque de contamination n'est présent à ce stade.

#### **Étape 13: Emballage à l'usine**

Aucun risque de contamination, mais un emballage inapproprié peut rendre les pistaches susceptibles d'être contaminées par la suite en cas de réhumidification.

#### **Étape 14: Stockage à l'usine du produit fini**

Le stockage n'est habituellement que de courte durée et le risque de contamination est négligeable.

#### **Étape 15: Exportation depuis l'usine**

Aucune contamination n'est probable à cette étape ni durant le stade ultérieur du transport. Il importe de choisir, pour l'expédition, les colis qui répondent aux spécifications du client en matière d'aflatoxine.

### **c) Mesures permettant d'empêcher la contamination par les mycotoxines**

La mesure de prévention la plus efficace consiste à sécher les pistaches de manière à ramener leur humidité relative à 0,82 pour une conservation de courte durée ou à 0,70 pour une conservation de longue durée, afin d'éviter le développement de moisissures et la contamination par l'aflatoxine. À une température de 25°C, ces valeurs critiques d'humidité relative correspondent à des teneurs en eau respectives de 10 pour cent et de 5 à 7 pour cent (Olsen M., 1999).

Le retrait des pistaches contaminées par une ségrégation physique est le meilleur moyen de ramener les teneurs en aflatoxine d'un lot à un niveau acceptable. Les techniques de ségrégation comprennent le tri à la main, la flottation, le calibrage et le rejet des lots dont la contamination est excessive.

#### ***Tâches 7 à 10: Élaboration d'un plan HACCP***

On trouvera dans le tableau 14 une feuille de travail représentant schématiquement le plan HACCP relatif aux pistaches. Chaque étape du plan est développée dans le texte qui suit.

#### **Étape 1: Sur l'exploitation agricole, avant la récolte**

Il est possible de réduire la contamination par l'aflatoxine en pratiquant la gestion phytosanitaire intégrée (Boutrif E., 1998) qui a pour but de réduire le nombre de spores fongiques dans le verger et les risques d'attaque par les insectes. L'enlèvement ou l'enfouissement des déchets de végétation de l'arbre a été suggéré comme moyen de réduire sensiblement le nombre de spores.

#### **Étape 2: Récolte sur l'exploitation - Point critique n°1**

Cette étape a été définie comme point critique, la mesure d'intervention étant la ségrégation et le rejet des pistaches dont l'écale est abîmée. Cette mesure ramène le risque de moisissure à un niveau acceptable et permet de supprimer une très forte proportion de l'aflatoxine produite avant la récolte.

Le seuil critique est fixé à 1 pour cent au maximum de pistaches abîmées subsistant dans le lot après inspection, et le contrôle se fait par inspection visuelle.

Une contamination par l'aflatoxine peut intervenir après la récolte si l'arbre a été secoué, ce qui peut provoquer une rupture de l'écale et permettre la pénétration de spores et la production d'aflatoxine. Les pistaches que l'on laisse tomber au sol naturellement peuvent aussi moisir si elles y sont laissées trop longtemps. On considère qu'il est de bonne pratique agricole d'étaler une bâche en matière plastique ou en toile sous l'arbre pour la récolte. Les pistaches sont ensuite soit cueillies à la main, soit ramassées journalièrement à mesure qu'elles tombent.

### **Étape 3: Séchage des pistaches avec l'écale sur l'exploitation - Point critique n°2**

Cette étape est définie comme point critique auquel l'intervention consiste à sécher jusqu'à obtenir une teneur en eau conforme à la limite de sécurité. Des recherches doivent être effectuées pour déterminer quelle est la teneur en eau d'une pistache dans sa coque qui correspond à une humidité relative de 0,7 à 25°C. Les seuils critiques seront alors fixés en nombre de jours de séchage au soleil nécessaires pour obtenir la teneur en eau requise.

### **Étape 4: Stockage des pistaches avec l'écale sur l'exploitation - BPS**

Les pistaches saines ayant une teneur en eau en deçà de la limite de sécurité se conservent bien si les BPS sont appliquées.

### **Étape 5: Négociants primaire et secondaire - BPS**

Les bonnes pratiques de stockage sont nécessaires pour empêcher la réhumidification des pistaches et lutter contre les dégâts des insectes.

### **Étape 6: Usine, achat et stockage des pistaches avec l'écale (filière lente) - BPF/BPS**

Il est considéré de bonne pratique d'acheter des pistaches de haute qualité contenant un faible pourcentage d'écales abîmées. L'achat à prix fort encourage les négociants et les cultivateurs à produire des pistaches de qualité, et le rejet ou l'achat à bas prix les dissuade d'offrir une qualité médiocre.

Les bonnes pratiques de stockage permettent une conservation de longue durée des pistaches dans leur écale, si c'est nécessaire. Des fumigations doivent être pratiquées régulièrement pour lutter contre les insectes.

### **Étape 7: Écalage à l'usine - BPF**

Le procédé humide ne devrait être employé que si l'usine dispose d'un séchoir mécanique efficace, qui sera utilisé à l'étape 10. À défaut, c'est le procédé sec qui doit être employé.

### **Étape 8: Flottation à l'usine - Point critique n°3**

Cette étape a été définie comme point critique dont la mesure d'intervention consiste à retirer les pistaches qui flottent. Les études (Schatzki T., 1996) montrent que cette opération permet d'éliminer près de 40 pour cent de l'aflatoxine. À ce point critique et aux suivants, il est possible de ramener les teneurs en aflatoxine à un niveau acceptable dans une forte proportion de lots. Le contrôle s'effectue par inspection visuelle, réalisée par un personnel formé, qui vérifie que moins de 1 pour cent des matières flottantes subsistent.

### **Étape 9: Séchage à l'usine - Point critique n°4**

Il s'agit d'un point critique pour la filière rapide, dans laquelle les pistaches écalées sont stockées (ou exportées) avant leur transformation. Les pistaches de la filière lente passent à l'étape 11 sans attendre, et l'étape 9 ne constitue pas un point critique pour ce procédé.

La mesure d'intervention consiste à sécher les pistaches de manière à ramener leur teneur en eau à 10 pour cent en 24 heures pour une conservation de courte durée et à 6 pour cent en 48 heures pour une conservation de longue durée. Des seuils critiques sont fixés pour la température de fonctionnement du séchoir et la durée du passage dans le séchoir. Les seuils critiques de température sont contrôlés par lecture régulière, ou en continu, de la température sur un thermomètre étalonné.

#### **Étape 10: Tri à l'usine - Point critique n°5**

La mesure d'intervention à ce point critique consiste à retirer les petites pistaches et à trier à la main en enlevant les pistaches abîmées. Les études menées aux États-Unis (Schatzki T.F., 1996) montrent que les petites pistaches (plus de 30 par once) contiennent de 20 à 40 pour cent de l'aflatoxine initialement trouvée dans un lot. Après le rejet des graines trop petites, le tri à la main pour retirer les pistaches abîmées (principalement par les insectes) et celles qui présentent des fragments d'écale adhérent à la coque permet de réduire encore sensiblement les teneurs en aflatoxine. Lorsqu'il s'agit de la filière rapide, le tri comprend en plus l'élimination des pistaches dont la coque est tachée, ce qui accroît l'efficacité de l'intervention en réduisant les teneurs en aflatoxine.

Le contrôle à ce point critique consiste en une inspection visuelle par du personnel entraîné à déceler une proportion inacceptable (5 pour cent, par exemple) de pistaches abîmées ou décolorées subsistant après le tri à la main.

#### **Étape 11: Grillage et salage - BPF**

Aucune contamination par l'aflatoxine n'est possible à cette étape. Le grillage réduit les teneurs en aflatoxine, d'environ 20 pour cent.

#### **Étape 12: À l'usine, recherche d'aflatoxine et classement - Point critique n°6**

Dans un premier temps, cette étape sera un point critique, mais à mesure que la maîtrise de l'aflatoxine s'améliorera, l'équipe HACCP pourra n'utiliser la recherche d'aflatoxine à cette étape que comme une mesure de contrôle.

La mesure d'intervention consiste à effectuer une recherche d'aflatoxine sur chaque lot et à classer les lots en conséquence. Il faut malheureusement un gros échantillon de 30 kg, pour les raisons exposées dans l'introduction. Des seuils critiques sont fixés selon les spécifications du client, soit par exemple 2 µg d'aflatoxine B1 par kg pour l'UE et 20 µg d'aflatoxine B1 par kg pour les États-Unis. Le seuil critique est contrôlé à l'aide d'un test rapide semi-quantitatif de recherche d'aflatoxine sur des échantillons représentatifs. Il existe aussi la possibilité d'envoyer des échantillons à un laboratoire de certification agréé.

#### **Étape 13: Emballage à l'usine - BPF**

Un emballage approprié est nécessaire pour empêcher une réhumidification et préserver les autres facteurs de qualité. Il est préférable que le produit soit conditionné sous vide ou sous azote dans un emballage hermétique.

#### **Étape 14: Stockage à l'usine du produit fini - BPF**

Le stockage à température ambiante convient à une conservation de courte durée, mais pour une conservation plus longue, la température doit être inférieure ou égale à 10°C.



### **Étape 15: Exportation de l'usine - BPF**

Les lots de pistaches destinées à l'exportation sont sélectionnés de manière à correspondre aux exigences du client relatives à l'aflatoxine, à l'aide des renseignements obtenus à l'étape 12.

#### ***Tâche 11: Établir des procédures de vérification***

Le plan HACCP doit être contrôlé trimestriellement et modifié au besoin.

#### ***Tâche 12: Tenir un dossier et des documents de bord***

Le Plan HACCP doit être accompagné d'une documentation complète et les données doivent être dûment consignées à chaque point critique.

### **Références**

Boutrif, E. (1998). 'Prevention of aflatoxin in pistachios'. *Food, Nutrition and Agriculture* **21**, 32-38.

Doster, M. A., Michailides, T. J. (1994). 'Aspergillus moulds and aflatoxin in pistachio nuts in California'. *Phytopathology* **84** (6) 583-590.

Olsen, M. (1999). 'Prevention of aflatoxins in pistachios'. Proceedings of the Third Joint FAO/ WHO/ UNEP International Conference on Mycotoxins. FAO, Rome.

Schatzki, T. F., Pan, J. L. (1996). 'Distribution of aflatoxin in pistachios. 3. distribution in pistachio process streams.

Somner, N. F., Buchanan, J. R., Fortlage, R. J. (1986). 'Relation to early splitting and tattering of pistachio nuts to aflatoxin in the orchard'. *Phytopathology* **76**, 692-694

**Tableau 14. Feuille de travail HACCP - Pistaches grillées produites en Asie de l'Ouest.**

Étape du procédé	Description du risque	Mesures d'intervention possibles	Contrôle	Seuils critiques	Méthode de contrôle	Meure corrective	Dossier
1 Exploitation agricole Avant la récolte	Moisissure	Sélectionner les variétés résistantes (long terme); Réduire la quantité de spores présentes dans l'air et le sol	GPI *	Enlever 95% des déchets végétaux	Inspection visuelle	Enlever ou enfouir les déchets	Cultivateur
2 Exploitation agricole Récolte	Moisissure	Retirer les pistaches ouvertes précocement ou abîmées par les insectes (inspection par le cultivateur) Étaler une bâche sur le sol Transporter directement à l'usine dans les 8 heures suivant la récolte (filiale rapide seulement)	Point critique n°1  BPA BPA	Laisser <1% de pistaches abîmées	Inspection visuelle (prime pour <1% de pistaches ouvertes précocement)	Retrier le lot	Cultivateur
3 Exploitation agricole Séchage (Filière lente)	Moisissure	Sécher complètement avant de stocker avec l'écale (déterminer par une étude la teneur limite en eau des écales)	CCP2	Étude à faire: 3 jours de séchage au soleil, par exemple?	Mesurer le temps de séchage	Prolonger la durée du séchage Retirer les pistaches moisies	Cultivateur
4 Exploitation agricole Stockage des pistaches dans leur écale	Moisissure	Stocker surélevé et sous un toit sain	BPS				
5 Stockage primaire/secondaire des pistaches dans leur écale	Insectes	Traitement insecticide	BPS				
	Moisissure	Stocker surélevé et sous un toit sain	BPS				
6 Usine Achat/stockage	Insectes	Traitement insecticide	BPS				
	Moisissure	Acheter des pistaches dont l'écale est intacte (offrir une prime pour les lots contenant <1% de pistaches ouvertes) Stocker surélevé et sous un toit	BPF  BPS				

	Insectes	sain Traitement insecticide	BPS				
7 Usine Écalage	Aflatoxine	Ne pas réutiliser l'eau	BPF				
8 Usine Flottation	Aflatoxine	Retirer les matières flottantes, ce qui réduit les teneurs en aflatoxine de ~70%	Point critique n°3	Retirer >99% des matières surnageantes	Inspection visuelle	Répéter l'opération de tri et rejet	Dossier de fabrication
9 Usine Séchage	Aflatoxine	Sécher uniformément pour ramener la teneur en eau à 12%.	Point critique n°4	Paramètres de température et de durée ex.: 82°C +/- 2°C pendant 3 heures +/- 3 minutes	Enregistrement graphique Minuterie	Réparer la panne, sécher à nouveau les pistaches ou les jeter si le délai est dépassé	Dossier de fabrication
10 Usine Tri	Aflatoxine	Trier, retirer les pistaches trop petites (>30 par once ou >106 par 100 g) Retirer les pistaches décolorées, racornies ou abîmées	Point critique n°5	Retirer >99% des pistaches trop petites Retirer >95% des pistaches indésirables	Contrôle de classement Contrôle de classement	Refaire un tri Refaire un tri	Dossier de fabrication Dossier de fabrication
11 Usine Grillage et salage			BPF				
12 Usine Recherche d'aflatoxine & classement	Aflatoxine	Déterminer la teneur en aflatoxine d'un lot en prélevant un échantillon représentatif de 30 kg sur la chaîne et en effectuant une recherche d'aflatoxine	Point critique n°6	< ou = 2 µg/kg B1 pour l'EU < ou = 20 µg/kg aflatoxine totale pour les É.-U.	Recherche de l'aflatoxine au moyen d'un test rapide	Rejeter les lots non conformes pour l'aflatoxine	Dossier de fabrication
13 Usine Emballage	Aflatoxine	Emballage hermétique, de préférence sous vide ou en atmosphère inerte	BPF				
14 Usine Stockage	Aflatoxine	Température ambiante, mais < ou = 10°C pour le stockage de longue durée	BPS				
15 Usine Exportation	Aflatoxine	Choisir les lots conformes aux spécifications du client pour l'aflatoxine en utilisant les données de l'étape 12	BPF				

\* GPI = Gestion phytosanitaire intégrée

equilibrium relative humidity

Moureau-Brace, Dict. of Petroleum Technology, 1979, Technip Dict. technique du pétrole, 1979, Technip thermodynamique

degré hygrométrique d'équilibre

**harmonisation:**

L'aflatoxine est la seule mycotoxine dont la teneur soit réglementée

***Tâche 6: Analyse des risques de contamination par les mycotoxines et détermination des mesures permettant de les limiter***

**Analyse des risques de contamination par les mycotoxines**

**a) Identification**

**b) Détermination des étapes du schéma de produit auxquelles la contamination par les mycotoxines est le plus susceptible de se produire**

**c) Mesures permettant d'empêcher la contamination par les mycotoxines**

Dans le texte qui suit, le plan est développé par étape du schéma du produit.

rotary vacuum filter

Definition tambour perforé horizontal rotatif recouvert d'une surface filtrante généralement en tissu, partiellement immergé dans la suspension à filtrer et muni d'un système d'évacuation

Reference ISO 1227 M2:1976 N

TERM filtre rotatif sous vide