



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT

2400

48

Pratiques recommandées

pour la

PRÉVENTION DES MYCOTOXINES

dans les produits alimentaires et fourragers

préparées par

l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

en collaboration avec

le Programme des Nations Unies pour l'environnement



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT

Pratiques recommandées

pour la

PRÉVENTION DES MYCOTOXINES

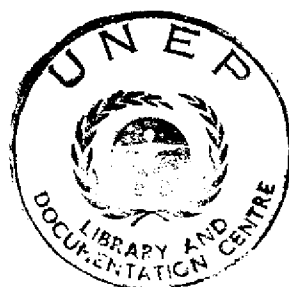
dans les produits alimentaires et fourragers

préparées par

l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

en collaboration avec

le Programme des Nations Unies pour l'environnement



ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome 1979

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et du Programme des Nations Unies pour l'environnement aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Food
Agr
Prod/34

M-84

ISBN 92-5-200703-2

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, détentrice des droits avec le Programme des Nations Unies pour l'environnement. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, en indiquant les passages ou illustrations en cause.

© FAO et PNUE 1979

P R E F A C E

Le présent ouvrage, publié par la FAO dans le cadre du projet FAO/PNUE N° 0107-75-01 "Lutte contre la contamination environnementale des aliments: MYCOTOXINES", a été préparé à partir de la documentation ci-après:

- a) un document intitulé "Recommended Practices for the Prevention of Mycotoxins in Food, Feed and their Products" (1976), établi par l'Institut central de recherches technologiques alimentaires (CFTRI) de Mysore (Inde), suivant les directives de M. B.L. Amla, son directeur, et de MM. V. Sreenivasa Murthy, S.C. Basappa et S.K. Majumder, chercheurs principaux de l'Institut;
- b) un projet de directives (AGS MISC/77/7, juin 1977), élaboré à partir du document du CFTRI susmentionné lors d'une réunion (21-25 février 1977), à laquelle participaient M. V. Sreenivasa Murthy et ses collaborateurs, MM. M. Jemmali (Institut national de la recherche agronomique, Service des mycotoxines, Paris (France) , Homero Fonseca (Depto. de Tecnologia Rural ESA, Luiz de Queiroz, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, S.P., Brésil) et J.W. Dickens (Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, North Carolina State University, Etats-Unis d'Amérique), lesquels ont fourni sur leurs régions respectives, des informations récentes qui se sont révélées très utiles aux fins de la préparation et de la mise au point de la présente publication;
- c) l'étude critique du projet de directives précité ainsi que les recommandations de la Conférence mixte FAO/OMS/PNUE, tenue à Nairobi en septembre 1977; et
- d) les révisions définitives faites par M. T.W. Coomes, expert-conseil, (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Londres, Royaume-Uni).

A la FAO, la mise au point finale du document a été confiée à la Division des services agricoles, aidée par la Division de la production végétale et de la protection des plantes et par la Division des politiques alimentaires et de la nutrition. Les observations et suggestions en vue d'éventuelles rééditions de la présente publication peuvent être adressées au:

Chef du Service de la science et des normes alimentaires,
Division des politiques alimentaires et de la nutrition,
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
00100 Rome (Italie).

TABLE DES MATIERES

	<u>Section</u>	<u>Page</u>
Préface		v
Introduction	1	1
PREMIERE PARTIE		3
Memento des usages recommandés	2	3
Memento de la lutte contre l'infestation fongique des cultures sur pied	2.1	3
Memento des pratiques relatives à la récolte et au séchage	2.2	3
Memento des pratiques d'entreposage des récoltes	2.3	4
Memento des pratiques en matière de transport	2.4	5
Memento du traitement après récolte, y compris la décontamination	2.5	5
DEUXIEME PARTIE		7
Examen des éléments concourant à l'élaboration des usages recommandés .	3	7
Cultures sur pied et lutte contre l'infestation fongique dans le champ	3.1	7
Lutte contre l'infestation fongique dans le champ	3.2	10
Bibliographie des sections 3.1 et 3.2	3.3	11
Récolte et séchage	3.4	12
Bibliographie de la section 3.4	3.5	16
Entreposage	3.6	17
Transport	3.7	22
Bibliographie des sections 3.6 et 3.7	3.8	22
Traitement	3.9	23
Décontamination	3.10	24
Récupération de produits exempts d'aflatoxines à partir de substances contaminées	3.11	27
Bibliographie des sections 3.10 et 3.11	3.12	28
Utilisation de produits moisissus ou contaminés par des mycotoxines	3.13	28
TROISIEME PARTIE		30
Les impératifs et les moyens de la mise en oeuvre des pratiques recommandées	4	30
Base de données et surveillance continue	4.1	30
Education et vulgarisation	4.2	30
Commercialisation, distribution et incitations	4.3	31

ANNEXES

Annexe 1 - Mycotoxines produites par différents champignons et denrées alimentaires auxquelles elles sont associées	32
Annexe 2 - Mycotoxiques probablement provoqués par les rouilles et les charbons	35
Annexe 3 - Memento du traitement des piles de sacs en magasin en vue de les protéger contre les dommages provoqués par les insectes, les moisissures et les rongeurs	36
Annexe 4 - Influence de la teneur en humidité sur le développement des moisissures pendant l'entreposage des céréales, à différentes températures et humidités relatives	40
Annexe 5 - Valeurs d'équilibre de la teneur en eau d'une gamme de produits à une température de 27°C environ et à 70 pour cent d'humidité relative	41
Annexe 6 - Evaluation de la teneur en aflatoxines de certains aliments pour animaux et niveaux maximums tolérables d'admission de composants contenant des aflatoxines dans les mélanges alimentaires pour animaux	42
Annexe 7 - Liste de quelques institutions travaillant sur les mycotoxines	43

1. INTRODUCTION

Les mycotoxines sont un groupe de composés chimiques toxiques, produits par certaines souches de quelques espèces de champignons se développant dans des conditions favorables sur une vaste gamme de substrats différents. Comme leur nom générique l'indique, ces composés sont toxiques pour l'homme et l'animal et provoquent des maladies collectivement appelées mycotoxicoses. Les champignons susceptibles de produire ces composés sont généralement dits toxigènes.

Il ressort des études antérieures que les mycotoxines sont connues depuis plus de deux siècles; mais ce n'est que depuis 1961, c'est-à-dire depuis la découverte des aflatoxines, qu'elles ont fortement attiré l'attention. Suivant l'organe qu'elles prennent pour cible ou leurs manifestations pathologiques, on les identifie comme substances cancérigènes, hépatotoxines, néphrotoxines, neurotoxines, trémorgènes, etc. Avec la mise au point des méthodes de détection et d'analyse très sensibles, on s'est aperçu que ces composés étaient largement représentés dans presque toutes les denrées destinées à l'alimentation humaine ou animale. On s'est alors inquiété de la salubrité des produits alimentaires que nous consommons chaque jour. On trouvera dans les annexes 1 et 2 une liste des mycotoxines présentes naturellement dans les produits agricoles et des mycotoxicoses provoquées par les rouilles et les charbons.

Dans les pays en développement, si l'on n'arrive pas à conserver toutes les ressources alimentaires, on risque d'augmenter sensiblement les problèmes de la faim. Dans les régions où la demande excède l'offre, la situation est aggravée par les fortes pertes alimentaires provoquées par les insectes, les micro-organismes, les rongeurs et les oiseaux. Dans de nombreuses régions, les conditions climatiques conviennent à une production agricole étalée, sur toute l'année, mais elles favorisent aussi la croissance de moisissures susceptibles de gâter d'énormes quantités d'aliments. Dans ces mêmes régions, la consommation alimentaire par habitant est faible et les ravages dus aux maladies et aux carences nutritionnelles sont considérables. Etant donné la rareté des aliments, les gens évitent de jeter tout ce qui peut leur servir de nourriture, même si des moisissures en ont modifié les qualités organoleptiques. C'est pourquoi il faut assurer la salubrité des aliments susceptibles d'être attaqués par des champignons toxigènes.

Dans les pays industrialisés, le problème de la contamination des produits alimentaires par les aflatoxines et quelques autres mycotoxines prend des proportions croissantes. L'examen détaillé de produits alimentaires susceptibles d'être contaminés par des champignons fait apparaître peu à peu de nouvelles toxines potentielles. Ces vingt dernières années, on s'est efforcé d'étudier les origines, la nature et la distribution des mycotoxines dans les produits destinés à l'alimentation humaine et animale ainsi que leurs dangers éventuels pour la santé.

La contamination par les mycotoxines ne saurait être entièrement évitée actuellement, aussi divers pays ont-ils établi pour quelques-unes d'entre elles des seuils de tolérance pour les denrées alimentaires et les fourrages. Les aflatoxines, provenant de souches toxigènes d'Aspergillus flavus et d'A. parasiticus, sont de loin les plus couramment surveillées à cet égard. Les méthodes d'analyse sont capables de détecter les aflatoxines à des concentrations d'environ 1 part pour 1 milliard (ppb) (c'est-à-dire un microgramme par kilogramme). On sait que les problèmes d'échantillonnage ont une importance capitale dans le contrôle de la contamination de lots non homogènes de produits alimentaires et fourragers. Les Départements de la santé ou de l'agriculture de nombreux pays disposent d'informations courantes, à l'échelle nationale, sur les seuils d'aflatoxines fixés pour les aliments et les fourrages. Comme ces limites sont continuellement révisées à la lumière des informations régulièrement recueillies, on n'a pas essayé de les mentionner dans les directives. Cette publication se propose de recommander des usages visant à prévenir la formation de mycotoxines dans les produits d'alimentation humaine et animale et dans les denrées qu'on en tire. Elle a été préparée sur la base de l'examen fait par la Conférence mixte FAO/OMS/PNUE sur les mycotoxines (Nairobi, Kenya, 19-27 septembre 1977) du projet de directives établi pour le compte de la FAO et du PNUE par l'Institut central de recherches technologiques alimentaires de Mysore (Inde), avec la collaboration de spécialistes brésiliens, français et américains. Elle tient

compte du fait que l'efficacité des mesures de prévention et de protection, qui devront être adoptées tout au long de la chaîne alimentaire, depuis les semailles jusqu'à l'entreposage et la commercialisation, en passant par la culture, la récolte et la transformation, repose sur une connaissance approfondie et un contrôle rigoureux des différents facteurs en cause, cela afin de limiter l'incidence des mycotoxines.

Parmi les autres documents fournissant des informations sur les problèmes de mycotoxines et la lutte contre ces substances, citons:

- a) "Perspective globale sur les mycotoxines" (titre provisoire), recueil mis au point des principaux documents de travail préparés pour la Conférence mixte FAO/OMS/PNUE sur les mycotoxines (cf. "b" ci-après) et traitant de l'existence, des aspects sanitaires et toxicologiques des mycotoxines et de leurs incidences sur l'environnement, sur les échanges et le commerce;
- b) "Rapport de la Conférence mixte FAO/OMS/PNUE sur les mycotoxines", Etude FAO: Alimentation et nutrition N° 2, FAO, Rome, 1977 (avec des recommandations);
- c) "Surveillance des mycotoxines - Directives", Collection FAO: Contrôle des aliments N° 4, FAO, Rome, 1977.

Le but de la présente publication est d'offrir des informations utiles aux vulgarisateurs et aux travailleurs des secteurs de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. On sait que le travail de vulgarisation à la base utilise notamment des publications et du matériel didactique audio-visuel, qui doivent être élaborés en fonction du public auquel ils s'adressent. On espère que la présente publication servira à encourager l'élaboration et l'utilisation de tels auxiliaires de vulgarisation.

Elle se présente en trois parties. La première récapitule les usages recommandés respectivement pour les cultures sur pied, la récolte et le séchage, l'entreposage des récoltes, le transport et le traitement (après récolte, y compris la décontamination). La deuxième partie contient un examen ou une explication des facteurs liés aux usages recommandés. La troisième se concentre sur les besoins et les moyens de la mise en oeuvre des recommandations. Les produits mentionnés dans la deuxième partie (examen) constituent l'essentiel des denrées consommées par l'homme et par les animaux dans certains pays. Les mycotoxines étudiées sont celles dont on sait qu'elles constituent des contaminants importants pour ces produits. L'observance des recommandations devrait réduire au minimum les risques de contamination par les mycotoxines; néanmoins des méthodes permettant d'éliminer, d'inactiver ou de détruire les mycotoxines contaminantes sont également suggérées, afin d'essayer d'utiliser de quelque manière des produits qui, à défaut, devraient être totalement jetés. On indique aussi les pratiques actuelles, les tendances de la recherche et leurs résultats probables en regard des problèmes que posent les mycotoxines.

Il est bien évident que toutes les pratiques recommandées ne sont peut-être pas universellement applicables, mais elles apportent assez d'informations (cf. troisième partie) pour permettre aux autorités nationales de prendre des mesures appropriées, en utilisant ou en améliorant l'infrastructure et les pratiques en vigueur dans le pays.

PREMIERE PARTIE

2. MEMENTO DES USAGES RECOMMANDES

2.1 Memento de la lutte contre l'infestation fongique des cultures sur pied.

- 2.1.1 Réduire les dommages dus aux insectes et aux champignons en utilisant judicieusement les insecticides et fongicides agréés et en adoptant d'autres méthodes intégrées appropriées dans un programme de lutte contre les ravageurs;
- 2.1.2 utiliser, s'il y a lieu, des fongicides agréés afin de réduire ou d'éviter la formation de moisissures sur les cultures, en choisissant le traitement fongicide qui convient à la culture considérée;
- 2.1.3 planter en respectant l'espacement recommandé pour l'espèce et/ou les variétés cultivées, afin d'éviter le surpeuplement;
- 2.1.4 enlever ou détruire les adventices au voisinage des cultures, afin d'éliminer des réservoirs d'inoculum fongique;
- 2.1.5 enlever ou détruire les mauvaises herbes pendant la croissance des cultures, afin d'éviter qu'elles ne les concurrencent;
- 2.1.6 prendre l'habitude de pratiquer la rotation des cultures;
- 2.1.7 irriguer de façon homogène l'ensemble de la culture, en s'assurant que chaque plante reçoit suffisamment d'eau;
- 2.1.8 détruire ou enterrer toutes les matières organiques mortes, les résidus des cultures et autres plantes potentiellement hôtes, ainsi que les végétaux infestés par des champignons, avant de préparer la terre pour une nouvelle culture;
- 2.1.9 autant que possible, éviter de semer et de récolter aux époques où l'infestation par moisissures a davantage de probabilités de se produire;
- 2.1.10 éviter les dégâts mécaniques produits pendant la culture;
- 2.1.11 récolter à pleine maturité.

Les facteurs relatifs aux recommandations précitées sont examinés plus en détail dans la deuxième partie (cf. pages à), à propos de la lutte contre les infestations fongiques dans le champ et à l'égard de quelques cultures.

2.2 Memento des pratiques relatives à la récolte et au séchage

- 2.2.1 Récolter à pleine maturité;
- 2.2.2 éviter les dégâts mécaniques aux produits durant la récolte;
- 2.2.3 sécher immédiatement la récolte, en tenant compte du fait que le séchage au soleil en présence d'une forte humidité est susceptible d'entraîner l'infestation de la récolte par des moisissures;

- 2.2.4 sécher les récoltes aussi rapidement que possible, en se gardant d'oublier que le séchage au soleil en présence d'un taux d'hygrométrie élevé risque de provoquer l'infestation des produits par les moisissures;
- 2.2.5 éviter que la récolte ne se réhumidifie pendant ou après le séchage, en assurant une protection appropriée contre la pluie pendant le séchage au soleil et en évitant la forte humidité que provoque l'utilisation de bâches sur lesquelles la vapeur d'eau se condense lorsque la température baisse pendant la nuit;
- 2.2.6 ramener la récolte par séchage à un taux d'humidité suffisamment bas avant entreposage.

Les facteurs relatifs aux recommandations ci-dessus sont examinés plus en détail dans la deuxième partie (pages), à propos des pratiques de récolte et de séchage dans différents pays et pour différentes cultures.

2.3 Mémento des pratiques d'entreposage des récoltes

- 2.3.1 S'assurer que les structures de stockage sont sèches et étanches aux eaux d'infiltration et de remontée;
- 2.3.2 empiler les sacs de céréales sur des fardages ou des palettes pour éviter les remontées d'eau, à moins que le plancher ne comporte une paroi étanche à la vapeur d'eau;
- 2.3.3 s'assurer que l'on n'entrepasse que des récoltes de haute qualité, exemptes de moisissures et d'insectes, et dont le taux d'humidité a été ramené par séchage au niveau de sécurité pour le produit en cause;
- 2.3.4 lutter contre l'infestation par les insectes dans les structures d'entreposage et les céréales entreposées en vrac, par des traitements préventifs/correctifs avec des insecticides agréés. Eliminer des céréales les insectes rampants permet d'éviter le dépôt de spores fongiques et de champignons et réduit au minimum la constitution de "poches" de céréales très humides, qui entraînent inévitablement la prolifération de champignons;
- 2.3.5 entreposer, dans toute la mesure possible, à basse température, car la formation de champignons entraînant la contamination par mycotoxines est directement liée à une élévation de température. Certaines espèces de Fusarium font exception à cette règle dans la mesure où elles peuvent produire des mycotoxines à basses températures. Dans ces cas, le stockage sous azote peut être efficace;
- 2.3.6 Entreposage à l'exploitation
 - (a) procéder, avant entreposage, à la fumigation et au séchage des produits infestés dans les champs;
 - (b) ranner et tamiser les grains immatures, décolorés ou brisés;
 - (c) entreposer le produit dans des structures ou des récipients étanches, permettant des traitements par fumigation;
 - (d) inspecter périodiquement le produit entreposé et combattre les infestations d'insectes à l'aide de fumigants appropriés;

2.3.7 Stockage en grand

- (a) éviter de stocker des produits ayant un taux d'humidité supérieur au niveau de sécurité recommandé à l'annexe 5;
- (b) s'assurer que le plancher de l'entrepôt est étanche et à l'abri des rongeurs. Placer sous les piles de sacs des feuilles de polyéthylène ou des palettes de bois. S'assurer que l'entrepôt peut être à la fois convenablement ventilé et rendu étanche à l'air pour pouvoir fumiger en cas de besoin;
- (c) utiliser des fumigants appropriés et agréés;
- (d) abaisser le taux d'humidité du produit entreposé en aérant, si l'humidité relative le permet;
- (e) éviter l'infestation réciproque dans les entrepôts de lots de produits différents en procédant à des traitements prophylactiques avec des pesticides appropriés agréés;
- (f) empêcher l'accès des rongeurs et des oiseaux.

Les facteurs relatifs aux recommandations sont examinés plus en détail dans la deuxième partie (cf. page à).

2.4 Mémento des pratiques en matière de transport

- 2.4.1 Contrôler les conditions en cours de transport et y remédier quand elles sont défectueuses;
- 2.4.2 désinfecter périodiquement les récipients et véhicules de transport vides avec un fumigant ou autre pesticide approprié et agréé;
- 2.4.3 éviter d'entreposer des expéditions d'aliments dont le taux d'humidité dépasse le niveau recommandé dans les annexes 4 et 5 pour la denrée en cause;
- 2.4.4 éviter que les produits ne réabsorbent de l'humidité en cours d'expédition ou de transport en utilisant des bâches, la pressurisation ou des conteneurs étanches, selon le cas;
- 2.4.5 utiliser des matériaux d'emballage impénétrables ou résistants aux insectes, ou encore des conteneurs traités chimiquement pour repousser les insectes et les rongeurs.

Certains des facteurs en rapport avec les recommandations ci-dessus sont examinés dans la deuxième partie (cf. pages).

2.5 Mémento du traitement après récolte, y compris la décontamination

- 2.5.1 éviter les dégâts mécaniques aux récoltes pendant le battage ou le décorticage;
- 2.5.2 protéger les récoltes en cours de traitement, contre toutes conditions favorables au développement des champignons;
- 2.5.3 effectuer rapidement les opérations de transformation entraînant nécessairement une certaine réhydratation de la matière première;

- 2.5.4 isoler matériellement la partie endommagée d'une récolte avant de procéder au traitement;
- 2.5.5 inactiver les mycotoxines par des méthodes qui n'introduisent pas de nouvelles substances toxiques dans la chaîne des aliments destinés à l'homme ou aux animaux.

Les facteurs en rapport avec les recommandations ci-dessus sont examinés plus en détail dans la deuxième partie (cf. pages à).

DEUXIEME PARTIE

3. EXAMEN DES ELEMENTS CONCOURANT A L'ELABORATION DES USAGES RECOMMANDES

3.1 Cultures sur pied et lutte contre l'infestation fongique dans le champ

3.1.1 MAIS

Des études ont montré que le champignon producteur d'aflatoxines, Aspergillus flavus, est susceptible d'infester le maïs avant la récolte (1). La présence du champignon et de l'aflatoxine dans les épis de maïs a été mise en relation avec des dommages infligés au grain, pendant la culture, par la vrille du maïs européen (2). D'autres études ont permis de présumer que l'infestation du maïs dans le champ par A. flavus, varie selon les régions et que le maïs cultivé dans les zones chaudes et humides est particulièrement exposé (3). L'examen des éléments du problème a montré que la culture du maïs en conditions de stress (forte densité de plantations ou fumure insuffisante par exemple) semble accroître l'incidence de la contamination par aflatoxine (4).

L'examen de souches de maïs du point de vue de leur vulnérabilité à l'infestation par A. flavus pourrait révéler que seule diffère la protection offerte par la balle contre l'attaque des insectes responsables de l'introduction du micro-organisme dans la région de l'épi qui contient la graine (5). Un traitement insecticide des épis en cours de formation a réduit les dommages dus aux insectes mais n'a pas évité l'infestation par A. flavus et donc la production d'aflatoxine (6).

Des études au laboratoire ont apporté des éléments de preuve quant à l'existence de variétés d'arachide résistant à l'invasion des champignons producteurs d'aflatoxines (7). Par contre avec des hybrides de maïs expérimentalement infestés par A. flavus, à la fin du stade laitieux et jusqu'au début du stade pâteux du développement du grain l'étendue de l'infestation par A. flavus n'a pas varié; toutefois, la production de toxines a sensiblement différé d'un hybride à l'autre (8).

Les données scientifiques dont on dispose ne sont pas suffisamment sûres pour que l'on puisse établir des méthodes de prévention au niveau du champ. On ne connaît aucune technique pour prévenir la contamination des cultures de maïs sur pied par la zéaralénone ou d'autres mycotoxines. La fréquence de la contamination de cette culture dans certaines régions, par des moisissures et des mycotoxines devrait inciter à prendre des précautions accrues lors de sa récolte et de son entreposage.

3.1.2 BLE, SEIGLE, AVOINE ET ORGE

Les rouilles et les charbons sont les deux principales maladies d'origine fongique qui affectent ces cultures. Ces dernières années on les a soupçonnées de provoquer des mycotoxicoses (9). Les méthodes mises au point pour protéger les cultures sur pied de ces maladies ne sont pas satisfaisantes, c'est pourquoi on recommande de bonnes pratiques agricoles générales telles que la rotation des cultures et l'assainissement des champs, ainsi que la production de variétés résistantes. A ce jour, l'infestation des céréales sur pied par A. flavus n'est pas démontrée.

L'exemple le plus frappant de maladie fongique de céréales capable de provoquer une mycotoxicose chez l'homme et l'animal est l'ergot. Les principales céréales susceptibles d'être attaquées par le champignon qui en est la cause, Claviceps purpurea, sont le seigle et les blés durs, aussi peut-on combattre la maladie (10) par un système de rotation avec des blés communs ou avec l'avoine ou l'orge, rarement attaqués. Des assolements sans céréales aideront à réduire l'inoculum dans le champ. C. purpurea infeste également d'autres hôtes, qui servent de sources d'inoculum pour le seigle. La présence fréquente de sclérotés sur une vaste gamme d'herbes fourragères et sauvages impose, autant que faire se peut, l'éradication de tous ces hôtes, notamment s'ils poussent sur les bordures humides et abritées des champs de seigle.

Comme la maladie n'affecte que les inflorescences, il faut couper le foin quand il est encore vert et avant que les ergots ne se développent (11). Ceux-ci ont la vie courte, aussi des labours profonds associés à une rotation de deux ou trois ans avant de replanter en seigle suffisent généralement à faire dépérir ces organismes dans le sol. Il faut ne planter que des semences non affectées par le champignon.

3.1.3 SORCHO

Les graines de sorgho se couvrent souvent de moisissures avant la récolte. L'invasion commence généralement alors que les grains sont immatures et peut se poursuivre jusqu'à ce qu'ils soient convenablement séchés, après la récolte. S'il fait humide pendant le développement de la graine, l'infestation se trouve considérablement renforcée. Les champignons généralement associés aux céréales moisies appartiennent aux espèces Alternaria, Curvularia, Fusarium, Cladosporium, Penicillium, Oidium, Nigrospora et Phoma (12). Parmi les moisissures du sorgho, citons aussi Aspergillus flavus, dont on a constaté qu'elle produit des aflatoxines dans l'épi (13). Outre leur action sur le développement des mycotoxines, les moisissures des épis compromettent particulièrement la production des semences et peuvent également diminuer la valeur nutritive du grain.

La production de variétés résistantes, le traitement des semences, la rotation des cultures, la destruction des parties infestées et l'assainissement des champs sont quelques pratiques d'ordre général pour lutter contre la moisissure des épis, les charbons et l'ergot.

3.1.4 MIL CHANDELLE (PENNISETUM TYPHOIDEUM)

Le champignon Claviceps macrocephala, qui provoque l'ergot du mil, infeste les cultures sur pied au stade de l'inflorescence. Il s'attaque à un certain nombre d'espèces de Pennisetum (14). Les conidies de ce champignon restent viables pendant 13 mois, ce qui signifie qu'il peut survivre d'année en année par l'intermédiaire des conidies. Les temps frais et humides favorisent les infestations. Les méthodes de lutte présentées ci-dessus pour le seigle devraient être appliquées ici.

3.1.5 ARACHIDE

Les champignons étant distribués aussi bien dans le sol que dans l'air, l'infestation des arachides par des champignons toxigènes peut se produire soit avant que les arachides soient enlevées du sol soit au cours des opérations consécutives de récolte, séchage, manutention et entreposage. Dans de nombreux cas, la pénétration d'Aspergillus flavus dans les tissus de la culture sur pied est facilitée par les dommages provoqués par des nématodes, acariens, termites et autres petits animaux.

On a constaté que la sécheresse favorise l'infestation par le foreur de la tige du maïs (Elasmopalpus lignosellus), qui endommage les gousses et se nourrit des graines (15). Les propagules d'A. flavus peuvent être transportées par l'insecte jusqu'aux endroits

particulièrement propices à l'infestation, là où le grain est abîmé. D'autres petits animaux telluriques comme les nématodes et les acariens peuvent provoquer l'infestation des arachides par A. flavus lorsqu'ils s'y attaquent pour en tirer nourriture et humidité. Les dommages causés aux gousses par les outils agricoles favorisent aussi l'infestation.

Bien que les arachides puissent aussi être envahies par A. flavus lorsqu'elles poussent sur un sol humide, il semble que la sécheresse soit plus propice tant à l'infestation par le champignon qu'à la production d'aflatoxines (16). En période de sécheresse, la température et la teneur en eau des arachides et du sol semblent devenir favorables au développement d'A. flavus. On a constaté que si on irrigue le champ un mois au moins avant la récolte, la contamination des arachides par les aflatoxines diminue (16). Cela tient sans doute au fait que les sols humides réduisent les attaques par les insectes du sol et la moisissure et que les arachides précédemment endommagées par des insectes ou par des moisissures peuvent se détacher des plantes avant la récolte. Aussi bien les fongicides foliaires que ceux appliqués au sol n'ont pas réussi à réduire la contamination par A. flavus et par les aflatoxines avant la récolte (17). On peut utiliser des variétés d'arachides résistantes aux attaques des insectes ou des insecticides pour lutter contre le foreur de la tige du maïs (Elasmopalpus lignosellus) dans les champs non irrigués, et fumiger les sols pour combattre les nématodes (15).

Etant donné que les plantes adventices concurrencent les plants d'arachides en cours de croissance et gênent la récolte et le séchage, il importe de lutter contre elles pour réduire les risques de contamination par les aflatoxines (18).

Il faudrait éviter d'abîmer les gousses pendant la culture car de tels dommages peuvent favoriser le développement des moisissures. On a signalé que la rotation des cultures, ainsi que la pratique de cultures hivernales de couverture réduisent les propagules d'A. flavus dans le sol (17). L'arachide peut être cultivée de façon satisfaisante en rotation avec un certain nombre d'autres cultures comme le coton, le tabac et les céréales. De nombreuses stations expérimentales recommandent que l'on ne fasse pas d'arachides sur le même sol plus d'une fois tous les trois ans.

On expérimente actuellement des variétés comme Junagadh 11 sous certaines conditions propres à l'Inde, et il semble que leur résistance à la formation de toxines ait un caractère relativement stable (19). Ces variétés résistantes nécessitent cependant une surveillance constante sous différentes conditions agro-écologiques. Plusieurs pays s'efforcent d'explorer les possibilités de mise au point de variétés d'arachides résistant à la prolifération d'A. flavus et à la formation d'aflatoxines.

3.1.6 COTON

On sait depuis de nombreuses années qu'A. flavus est l'agent causal de la décomposition des capsules du cotonier (20). A. flavus produit une vive fluorescence jaune-verdâtre (BGY) sur le lint lorsqu'il est exposé à une source de lumière ultraviolette à grandes ondes; cette fluorescence est typique de cette dégénérescence. Elle constitue un indice utile permettant de présumer l'existence d'A. flavus et d'aflatoxines (21). L'invasion de la capsule de la graine de cotonier par des insectes et, en dernier lieu, par A. flavus se produit en général avant ouverture totale de la capsule; elle atteint un maximum dans une gamme de températures optimale de 30-35°C (22). La production d'aflatoxines a apparemment lieu dans des capsules saines uniquement depuis le moment où elles commencent à s'ouvrir jusqu'au moment où les graines sont sèches par suite d'une meilleure aération (22). En conséquence, plus les capsules de coton s'ouvrent et sèchent rapidement, plus est faible le potentiel de contamination des graines par les aflatoxines.

Ashworth et ses collaborateurs (23) ont présumé que la perforation par laquelle le ver rose (Pectinophoro gossypiella Saund.) sort de la capsule est le principal point d'entrée du champignon. Lygus hesperus Knight et un puceron malodorant (Chlorachroa sayi Stal.) seraient responsables de la dissémination des propagules d'A. flavus dans ces orifices de

sortie (24). Les blessures internes occasionnées aux loges par certains insectes comme le ver rose ralentissent et souvent empêchent l'ouverture totale des capsules et l'épanouissement complet des loges. La forte humidité qui entoure les capsules contribue aussi à ralentir leur ouverture (25). Ces deux conditions réunies ont pour effet d'empêcher les loges de s'épanouir et de sécher et d'autre part de retenir une plus forte humidité dans les semences pendant des périodes prolongées. Cette lenteur du séchage augmente sans doute les possibilités d'invasion des semences et l'élaboration ultérieure d'aflatoxines par A. flavus. Certaines pratiques d'aménagement comme la défoliation du tiers inférieur de la culture de coton avec du DEF (S,S,S-tri-butyl-phosphorotrithionate), jointes à une plantation en quinconce (4 x 4 rangs décalés), en assurant aux plants une meilleure aération et moins d'humidité, réduisent, semble-t-il, les aflatoxines (26). Lors d'une étude effectuée en Arizona, sur trois ans l'accumulation d'aflatoxines dans des semences de coton Deltapine 16 a été sensiblement influencée par l'époque à laquelle prenait fin l'irrigation, ainsi que par le degré d'infestation par le ver rose de la capsule. En 1971 et 1972, l'arrêt de l'irrigation au début d'août s'est traduit par une teneur nettement plus basse d'aflatoxine par rapport aux parcelles ayant reçu deux irrigations supplémentaires. En outre, on a trouvé des quantités sensiblement moindres d'aflatoxine dans les parcelles où, en 1971 et 1973, les infestations de ver rose de la capsule avaient été contenues en traitant les parcelles avec des insecticides comme le méthylaziphos et le méthomyl.

Il ressort donc des renseignements dont on dispose qu'il est possible d'éviter dans une large mesure l'infestation par A. flavus, ainsi que la formation d'aflatoxine dans la semence des cultures de coton en pratiquant l'irrigation contrôlée au stade de la formation de la capsule afin de réduire l'humidité, et en combattant l'infestation au moyen d'insecticides appropriés.

3.2 Lutte contre l'infestation fongique dans le champ

Certaines cultures comme le sorgho, le maïs, le paddy (riz non décortiqué) et les haricots sont exposées, dans le champ et avant la récolte, à des attaques internes et extérieures d'insectes et de moisissures (29). Les pontes des ravageurs des entrepôts, ou les dommages mécaniques provoqués par les insectes et divers arthropodes sont en grande partie responsables des infestations fongiques. Les mesures de prévention destinées à combattre les pontes d'insectes sur les grains et les gousses peuvent consister en applications de substances répulsives ou de formules insecticides (30). La désinfestation avant récolte ainsi que l'application prophylactique de substances chimiques comme le captan, le thirame, le zinebe, les acides propionique et acétique, réduisent l'incidence de la contamination fongique des grains. Ces pulvérisations, lorsqu'elles sont effectuées aux stades laiteux et post-laiteux, sont de nature à prévenir l'infestation interne. Des mélanges pesticides peu toxiques pour les mammifères (malathion et captan, par exemple) à une concentration de 0,3 pour cent appliqués avec des gicleurs à volume réduit ont eu des effets prophylactiques sur les panicules de paddy, de sorgho, de maïs et de légumineuses ainsi traités. Un gicleur à volume réduit monté sur des pulvérisateurs manuels (pulvérisateurs à dos) permet d'effectuer ce genre de pulvérisation. Il est nécessaire de surveiller l'apparition d'une résistance aux pesticides.

Les grains ayant subi des dommages mécaniques au cours des opérations agricoles sont bien sûr davantage sujets à l'infestation par les moisissures. Durant les manipulations qui suivent la récolte, notamment alors que la culture est encore humide, il est essentiel d'éviter tout dommage mécanique, ainsi que les attaques par les champignons et par les insectes des entrepôts. L'assainissement avant la récolte et la manutention dans de bonnes conditions de salubrité après la récolte sont essentielles pour réduire le moisissement des grains.

Il devrait être possible de trier les arachides contaminées par A. flavus dès le champ. Une observation attentive des champs d'arachides avant le déterrage peut révéler des zones où les plantes ont souffert, par exemple des poches gravement touchées par la sécheresse qui sont fréquemment des zones d'infestation par A. flavus et par les insectes. Dans les

champs irrigués, les zones délaissées par le système d'irrigation peuvent contenir de grandes quantités d'arachides endommagées par des insectes ou infestées par *A. flavus*. Les récoltes provenant de ces zones pourraient être manipulées et traitées séparément afin d'éliminer les graines contaminées par des aflatoxines. S'il ressort d'un examen attentif que les arachides sont porteuses d'*A. flavus*, il faut les destiner à des usages non alimentaires ou les décontaminer en éliminant toutes les graines moisies.

Un examen attentif des cultures de céréales sur pied et la récolte séparée des épis moisies éviteraient que les grains atteints ne se mélangent aux autres pendant la récolte. Si les épis sont récoltés intacts, ceux qui sont moisies doivent être éliminés avant battage. Pour ce qui est du maïs, les épis comportant des grains moisies doivent être triés avant décorticage afin d'éviter de mêler les graines moisies et les autres.

3.3 Bibliographie des section 3.1 et 3.2 (Cultures sur pied et lutte contre l'infestation fongique dans le champ)

1. Rambo, G.W.; Tuite, J., and Crane, P. (1975) *Phytopathology*, 64, 797.
2. Lillehoj, E.B., Fennel, D.I., and Kwolek, W.F. (1976) *Science*, 193, 495.
3. Burnside, J.E., Sipple, W.L., Forgaes, J., Carll, W.T., Atwood, M.B., and Dott, E.R. (1957). *Am.J. Vet. Res.* 18, 817.
4. Anderson, H.W., Nehring, E.W. and Wichsor, W.R. (1975) *J. Agr. Food Chem.* 23, 775.
5. Lillehoj, E.B., and Zuber, H.S. (1975). In proceedings of the 13th Annual Corn and Sorghum Research Conference. U.S.D.A.
6. Widstrom, N.W., Sparks, A.N., Lillehoj, E.B. and Kwolek, W.K. (1975) *J. Eco. Entomol.* 68, 855.
7. Nagarajan, V., and Bhat, R.V. (1972). *J. Agr. Food Chem.* 20, 911.
8. Laparde, J.C., and Manwiller, A. (1976). *Phytopathology*, 66, 675.
9. Martin, P.M.D. and Gilman, G.A. (1976) "A consideration of the Mycotoxin hypothesis with special reference to Mycoflora of maize, sorghum, wheat and groundnuts", publié par l'Institut pour les produits tropicaux (T.P.I.), Londres.
10. Butler, E.J., et Jones, S.G. (1949) dans "Plant Pathology" McMillan and Co. Ltd. p. 445.
11. Sampson, K., et Western, J.H. (1971), cité dans "Plant Pathology" McMillan et Co., par Butler et Jones.
12. Tarr, S.A.J. (1962). "Diseases of Sorghum, Sudan Grass and Broom Corn" publié par Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey (Angleterre).
13. Thripathi, R.K. (1973) *Ind. Expl. Biol.* II. 361.
14. Singh, R.S. (1968) cited in "Plant diseases" Oxford and IBH Publishing Co. New Delhi.
15. French, J.C., and Morgan, L.W. (1972). *J. Amer. Peanut Res. and Educ. Assoc.* 4.41.
16. Pettit, R.E., Taber, R.A., Sehraeder, H.W., and Harrison, A.L. (1971), *Appl. Microbiol.* 22, 629.

17. Pettit, R.E., and Taber, R.A. (1973). J. Amer. Peanut, Res. and Educ. Assoc. 5, 195.
18. Dickens, J.W. (1976) Journal Series of the North Carolina Agr. Ept. Sta.
19. Nagarajan, V., Bhat. R.V., and Tulpule, P.G. (1974) Phoc. Nut. Soc. India 16, 52.
20. Marsh, P.B., and Kerr, T. (1961) Plant disease reporter 45, 550.
21. Ashworth, L.J., McMeans, J.L., Pyle, J.L., Brown, C.M., Osgood, J.W. and Ponton, R.E. (1968). Phytopathology. 58, 102.
22. Ashworth, L.J. McMeans, J.L., and Brown, C.M. (1969) Phytopathology. 59, 669.
23. Ashworth, L.J., Rice, R.E., McMeans, J.L., and Brown, C.M. (1971). Phytopathology 61, 488.
24. Stephensen, L.W., and Russel, T.E. (1974) Phytopathology, 64, 1502.
25. Kerr, T. and Tharp, W.H. (1956) Cottongin Oil Mill Press, 57, 8.
26. Ashworth, L.J. (données inédites), cité par R.W. Howell dans "Toxic Mycro-organisms" édition revue par M. Herzberg (1970). Acte des réunions de l'U.J.N.R.
27. Russel, T.E., Watson, T.F. and Ryan, G.F. (1976) Appl. Environ. Microbiol. 11, 711.
28. Christensen, C.M. and Kaufmann, H.H. (1965) 31, 711 Ann. Rev. Phytopath. 3, 69
29. Majumder, S.K., Raghunathan, A.N. and Rangaswamy, J.R. (1973) Ann. Technol. Agri. 22, 483.
30. Majumder, S.K., Krishnamurthy, K., and Godavari Bai. S.C. (1961) Nature (London) 192, 373.

3.4 Récolte et séchage

Il importe tout particulièrement d'éviter les dommages mécaniques pendant la récolte et les manipulations y faisant suite, notamment lorsqu'il s'agit de cultures humides. On trouvera ci-après une description des méthodes de récolte et de séchage pratiquées dans divers pays pour le maïs, le riz, et les arachides. Ces descriptions ne constituent pas des usages recommandés.

3.4.1 RECOLTE DU MAIS

L'époque de la récolte correspond à la maturité du grain. En France, les trois quarts du maïs sont récoltés à la moissonneuse-batteuse, le séchage étant effectué à l'air chaud (110-120°C). Le reste, soit 25 pour cent, est entreposé en épis, dans des "cribs". Le décorticage ou le battage ont lieu quand le grain a moins de 15 pour cent d'humidité. L'entreposage en "cribs" peut entraîner une contamination par la zéaralénone et le trichothécène (1).

Au Brésil, le maïs est en général séché sur pied avant d'être récolté. S'il est destiné à servir de fourrage, on entrepose les épis. S'il doit être vendu, les grains sont battus et entreposés en sacs. La principale source de contamination potentielle réside dans un entreposage médiocre, exposé à la pluie (2).

3.4.2 RECOLTE DU RIZ

Le riz est généralement récolté alors que sa teneur en eau dépasse les niveaux de sécurité pour l'entreposage. Les critères d'après lesquels on décide du moment de la récolte sont notamment la maturité d'après la couleur des panicules, l'âge de la culture et la teneur en eau du paddy. L'humidité constitue l'élément décisif de la qualité du grain en cours d'entreposage.

La pratique traditionnelle consiste, semble-t-il, à récolter le riz à un stade avancé de maturité, lorsqu'il contient entre 15 et 17 pour cent d'eau. Mais les pertes au décorticage et le taux élevé de brisures en cours d'usinage ont incité les cultivateurs à récolter le riz à 20-24 pour cent d'humidité (3). Ce paddy humide doit être ramené par séchage à une teneur de sécurité de 14 à 15 pour cent avant l'entreposage. Le paddy récolté mécaniquement est en général beaucoup plus humide, ce qui rend obligatoire le séchage avant entreposage. De même, le riz résultant du décorticage du paddy très humide doit être séché avant d'être entreposé.

Le riz absorbe ou perd de l'humidité sans difficulté, jusqu'à ce qu'il se trouve en équilibre avec le degré hygrométrique de l'air ambiant. L'équilibre hygroscopique dépend essentiellement de l'humidité relative de l'air et, dans une moindre mesure, de la température de l'air (4). La teneur d'équilibre diffère suivant qu'il s'agit de riz brut, de riz brun, de riz usiné et de son (4). Une atmosphère très humide empêche le riz de sécher convenablement et favorise la humidification en cours d'entreposage.

3.4.3 RECOLTE DES ARACHIDES

Dans de nombreuses zones de culture, pour faciliter l'arrachage des arachides d'un sol dur, la récolte a lieu pendant la saison des pluies. Par temps sec, on inonde d'abord le sol pour le détremper. Les gousses abîmées soit par des arthropodes, soit par des opérations culturales, sont exposées aux infestations fongiques. Les dommages subis pendant la récolte sont également responsables de la pénétration de champignons saprophytes dans les graines.

Dans les pays plus avancés, l'andainage est généralement la méthode la plus courante pour récolter les arachides. On utilise normalement une arracheuse-secoueuse-aligneuse pour déterrer les plants, secouer la terre des racines et des gousses et retourner les plants en andains. La plupart des gousses se trouvent au sommet de l'andain, exposées au soleil et à l'air, ce qui facilite le séchage. Au bout de quelques jours, on ramasse les arachides partiellement sèches, on les empile sur une épaisseur de 1,5 mètre, sur des claies perforées, et on les fait sécher en faisant remonter de l'air chaud à travers le tas jusqu'à ce que leur teneur en eau soit inférieure à 10 pour cent.

En l'absence d'installations de séchage mécanique surtout quand les exploitations sont de petite taille, il est absolument nécessaire de traiter les gousses humides contre l'infestation fongique. Dans certaines régions de l'Inde, elles sont laissées intactes avec les fanes sur le sol pendant quelques jours. Cela ramène la teneur en humidité à environ 15 à 20 pour cent. Après triage, on continue le séchage en les étalant sur une aire cimentée. Dans d'autres régions, on empile les plants, les gousses vers l'extérieur et les fanes vers le centre. Dans tous ces cas, si le temps est peu humide, le séchage est plus rapide. Par temps humide ou pluvieux, le séchage devient difficile et Aspergillus flavus a l'occasion de se développer. On peut alors protéger les gousses par des fumigations de fongicides.

Au Brésil, les plants d'arachides sont laissés retournés de sorte que les gousses sont exposées à l'air et au soleil pour sécher. Souvent, comme le planteur souhaite vendre sa récolte et se faire payer, les gousses sont ramassées avant d'être suffisamment sèches pour l'entreposage. Elles sont alors mises en sacs et portées à la raffinerie où elles sont commercialisées sans difficulté, quel que soit leur degré d'humidité, l'acheteur ajustant le prix en fonction du poids d'eau en sus de 8 pour cent.

Dans certaines régions de l'Afrique, le battage se fait à la main, en évitant de briser les gousses qui sont ensuite étalées sur le sol en couches minces, pour les faire sécher. Dans la zone du Sahel, les variétés d'arachides cultivées sont prêtes à être récoltées après la fin de la saison des pluies. Les arachides sèchent sans moisir et la contamination par les aflatoxines est rare. En zone équatoriale, elle est plus répandue car les arachides doivent être récoltées et séchées pendant la saison des pluies, c'est-à-dire par temps humide, et souvent elles moisissent.

3.4.4 PRATIQUES DE SECHAGE

Le séchage est une étape essentielle de la conservation des céréales contre l'attaque fongique. Au moment de la récolte, les céréales ou les graines oléagineuses sont fréquemment trop humides pour que leur entreposage puisse être assuré dans des conditions de sécurité. Dans les endroits où la récolte a lieu par temps sec, le problème de la contamination par les mycotoxines n'atteint pas des proportions alarmantes. Par contre, il devient grave dans les régions où la récolte se fait par temps très humide. Le séchage du produit est alors un facteur extrêmement important pour le résoudre. Pendant les opérations de séchage, il faut éviter tout dommage mécanique; la température et le temps d'exposition du produit à l'air chauffé ne doivent pas être excessifs, sous peine de nuire à la qualité.

La pratique normale consiste à étaler le produit sur une aire cimentée et à l'exposer à la chaleur du soleil et aux courants d'air naturels. Il faut l'agiter fréquemment pour obtenir un séchage uniforme. En général, ce brassage se fait à la main. Le fait d'étaler le produit sur un tissu lâche ou sur une claie suspendue au-dessus du sol améliore l'aération et réduit la nécessité du brassage, sans toutefois l'éliminer. Par temps nuageux et pluvieux, l'insolation ne suffit pas pour ramener l'humidité des produits à un taux de sécurité en un temps raisonnable; il faut alors recourir au séchage artificiel. Le document No. 90 de la collection FAO: Progrès et mise en valeur - Agriculture, intitulé "Manutention et emmagasinage des grains alimentaires dans les régions tropicales et subtropicales" (1971) décrit des méthodes naturelles et artificielles de séchage des arachides propres à réduire les risques de contamination par les aflatoxines; En général, on chauffe l'air en brûlant du combustible, en utilisant la chaleur de moteurs à combustion interne ou des séchoirs à résistance électrique, et l'on fait passer l'air chaud à travers le produit.

3.4.5 SECHOIRS A RIZ (ET AUTRES DENREES)

On utilise, selon les pays, divers types de séchoirs à air forcé, naturel ou chauffé (5). On trouvera ci-après une description de quelques séchoirs à riz:

i) Séchoirs pour sacs

Il s'agit d'une unité simple (figure 1) dans laquelle les sacs de céréales ou de noix sont disposés à plat sur le plancher perforé d'un tunnel, de manière que l'air puisse être forcé à travers les sacs depuis une chambre d'aération située au-dessous. Avec une seule couche de sacs et de l'air à 115-120°F, à raison de 2 m³/h/sac, on peut ramener l'humidité de 48 à 8 pour cent en 16 heures. Ce système est utilisé pour sécher le riz dans de nombreux pays tropicaux, notamment aux Philippines et à Madagascar. Un système de séchage de ce type utilisé à Madagascar a une capacité de séchage de 228 sacs par opération. Les principaux inconvénients de ce type de séchoir résident dans le coût élevé de main-d'oeuvre, la faible capacité de séchage et la nécessité d'une surveillance constante.

ii) Séchoir horizontal à air chaud

Ce type de séchoir, (figure 2) fabriqué essentiellement par des constructeurs italiens et français, est beaucoup moins utilisé pour le séchage du riz. Il comporte une, deux ou trois chambres de séchage. Chaque chambre de séchage est divisée par des claies horizontales équidistantes, constituées par des plateaux à fond perforé montés sur des axes horizontaux.

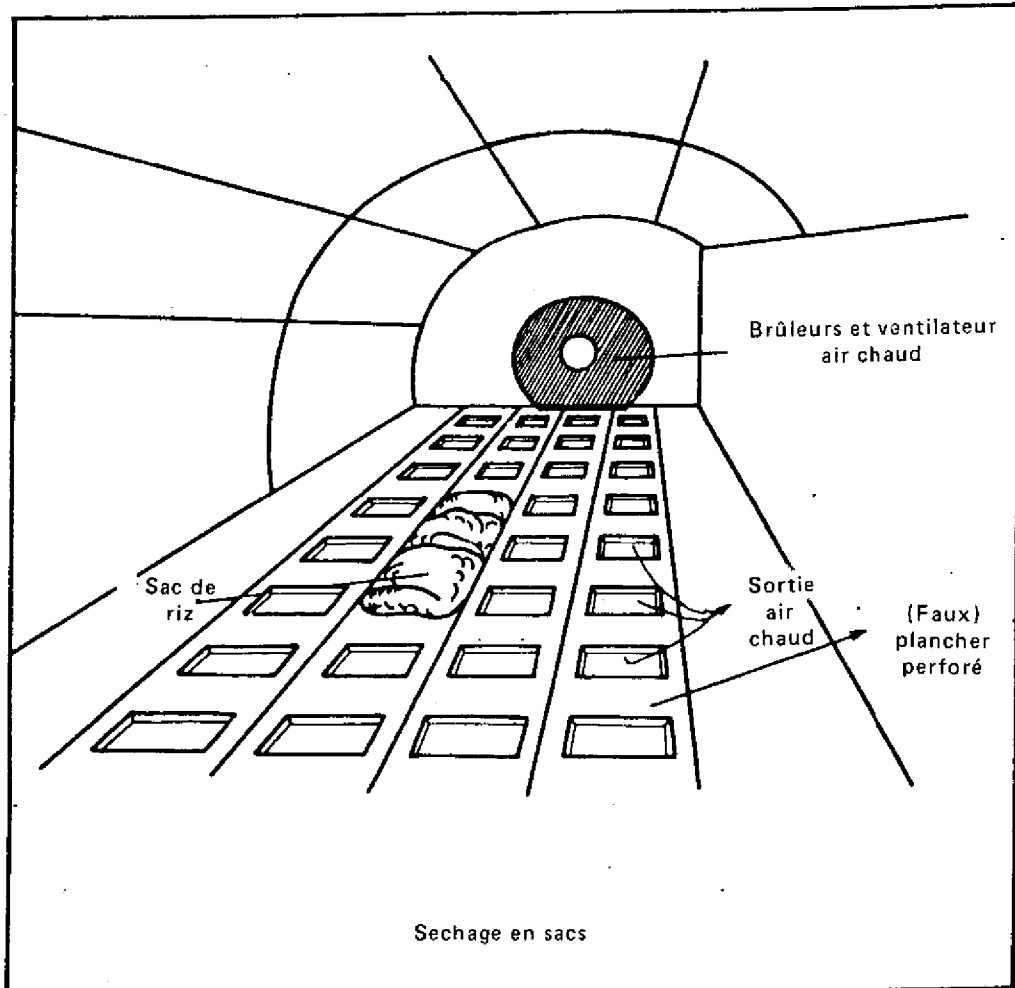


Fig. 1

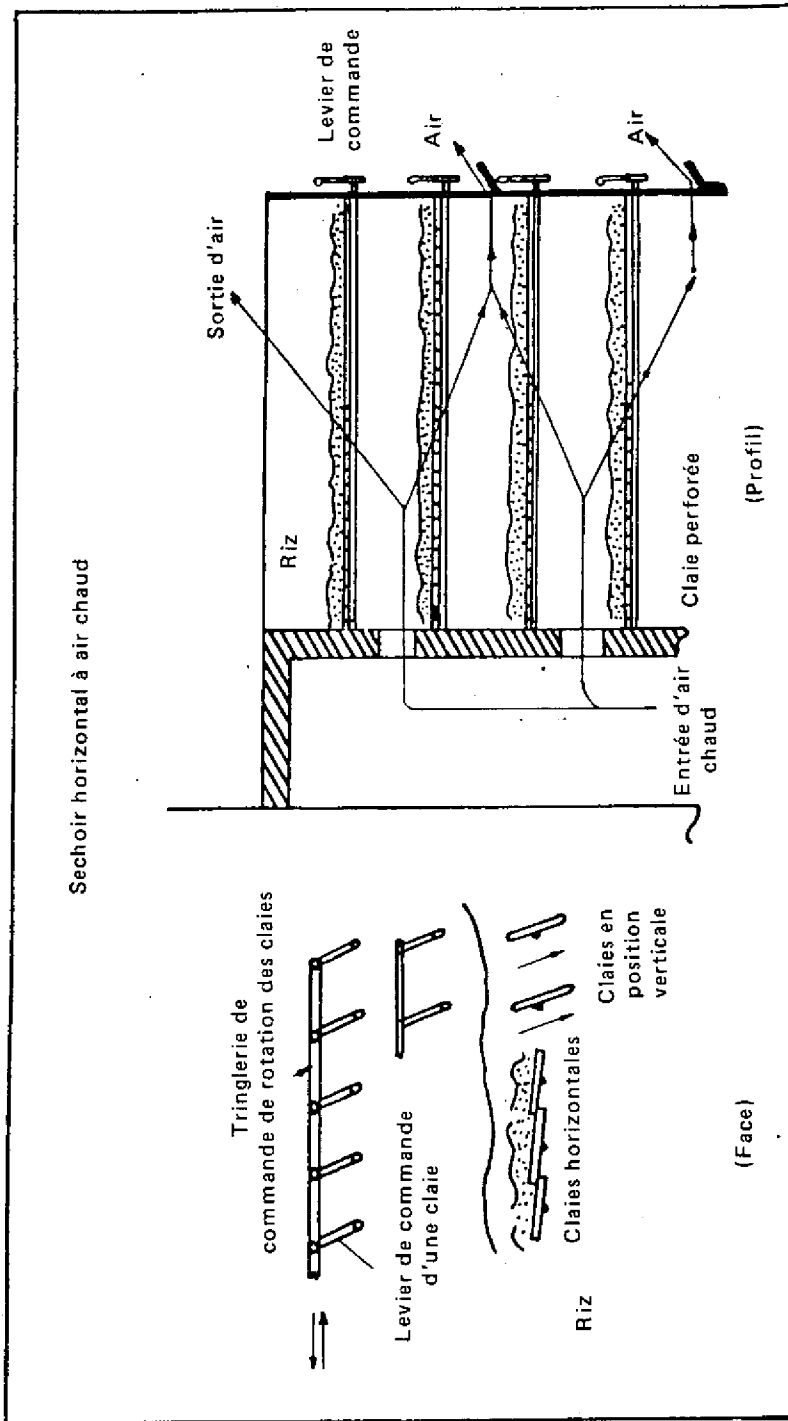


Fig. 2

Un levier de commande extérieur permet de faire pivoter les plateaux en position horizontale pour le séchage et en position verticale pour déverser le grain sur le plateau inférieur. Les grains ou noix humides sont placés sur le plateau supérieur. Le temps de rétention sur chaque plateau est égal à la durée totale du séchage divisée par le nombre de plateaux. L'air chaud est amené à une température de 95 à 100°F. Il existe des unités capables de traiter 25 tonnes en 24 heures.

iii) Séchoir brasseur à colonnes et chicanes

Ce séchoir (figure 3) est muni de chicanes qui conduisent le riz en zig-zag, en même temps que de l'air chaud est forcé à travers le grain en train de descendre. L'air chaud insufflé dans la partie centrale du séchoir pénètre dans le riz par les événements pratiqués sur la paroi interne et s'échappe par la face externe. Pour sécher 60 tonnes de riz humide en 24 heures, il faut un dispositif de quatre unités de séchage successives, un moteur de 22 HP. Le bâtiment aura de 80 à 90 mètres carrés de surface couverte.

iv) Séchoir brasseur de l'université d'Etat de la Louisiane

Ce séchoir (figure 4) est plus complexe. Il consiste en une cellule avec des rangées de conduits d'air. L'air chaud entre en plusieurs points dans le produit qui descend, par ces conduits en forme de V renversé. Chaque goulotte est ouverte à l'une de ses extrémités et fermée à l'autre. Un étage sur deux est fait de conduits d'entrée de l'air, l'autre de conduits de sortie. Dans les premiers, les ouvertures se trouvent face à la chambre de répartition d'air; dans les seconds, elles sont face à l'échappement. Chaque rangée est déportée de manière que l'arête des conduits divise le courant, assurant ainsi le brassage. Le dispositif d'évacuation qui se trouve à la base de la colonne permet de régler le débit. Dans la plupart des modèles, l'air chaud est fourni par une soufflerie. La capacité de ce type de séchoir varie entre 2 et 11 tonnes et les hauteurs, de 4,6 à 13 mètres. Le nombre de conduits d'air, pour les mêmes dimensions, est de 60 à 160; la puissance nécessaire est de 10 à 40 ch. Ces séchoirs peuvent être montés en batterie. Ces unités permettent de traiter de grandes quantités de grain avec sécurité mais elles sont complexes et coûteuses. Les coûts d'opération varient avec le type de séchoir, la capacité et le taux de réduction de l'humidité; ils comportent les postes suivants:

- énergie pour manipulation, transport et ventilation;
- combustible (fuel, gaz naturel, butane, charbon, bois) pour chauffer l'air;
- main-d'oeuvre;
- réparation et entretien;
- contrôle de l'humidité et de la température;
- amortissement;
- intérêts.

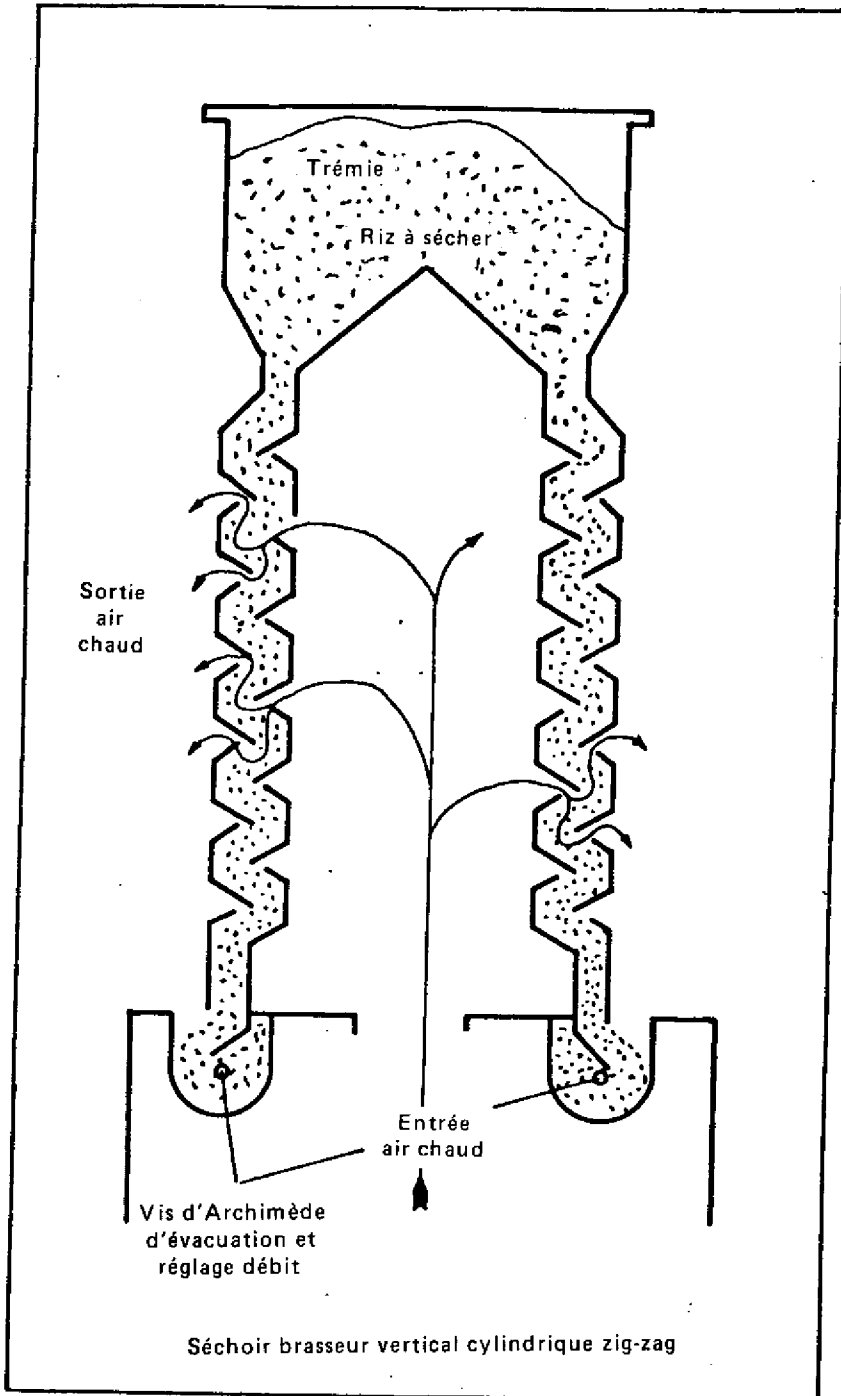


Fig 3

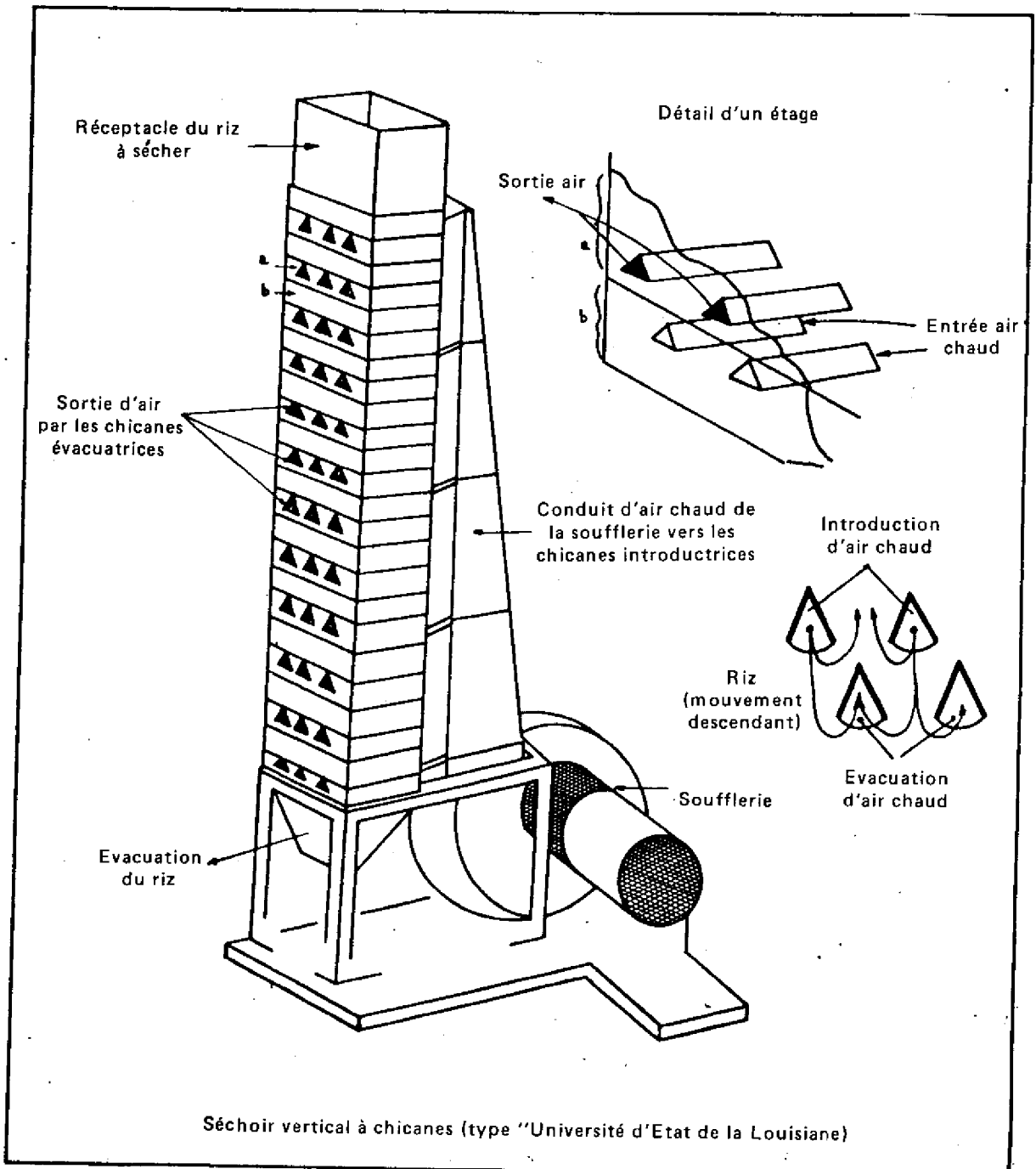


Fig. 4

3.4.6. SECHAGE DES ARACHIDES

Dans certains pays d'Afrique, on procède généralement au séchage des arachides en deux étapes. Une fois arrachés et secoués, les plants d'arachide sont disposés en andains dans le champ. Lorsque les conditions sont favorables, les arachides descendent à une teneur en humidité de l'ordre de 20 pour cent. Parfois, les plants sont dressés en meules, les gousses tournées vers l'extérieur pour les exposer directement au soleil. On peut aussi entasser les fanes autour de perches ou sur des plateformes surélevées d'environ 0,5 mètre par rapport au sol (figure 5). Une autre bonne méthode consiste à les emplir sur une sorte de châssis, les gousses tournées vers une cavité interne (figure 6). Un bon andainage et des méthodes améliorées pour la confection des meules sont des améliorations peu onéreuses et susceptibles de produire des résultats immédiats (d'après Carl Bro International A/S, Copenhague, 1976), (6).

Dans une seconde étape, les gousses sont détachées des fanes et portées à l'exploitation. Un séchage complémentaire est alors effectué. La méthode habituelle consiste à étaler les gousses sur une aire sèche et à les laisser sécher au soleil, en les retournant régulièrement. Ces dernières années, on a introduit des collecteurs d'énergie solaire pour chauffer l'air destiné au séchage des produits et utiliser rationnellement l'énergie solaire.

Le coût du séchage peut être évalué du point de vue des dépenses d'équipement, de main-d'oeuvre et de fonctionnement. Dans le cas du séchage naturel, seuls les frais de main-d'oeuvre entrent en considération. Souvent, ils sont négligeables lorsque le cultivateur effectue avec sa famille les diverses opérations nécessaires d'étalage, ramassage et ré-étalage. Avec le séchage artificiel par contre, les dépenses d'équipement peuvent varier considérablement. Le système le moins onéreux est le séchoir à sacs, le plus coûteux étant celui des séchoirs continus, dont l'entretien nécessite un personnel qualifié. Le coût du séchage dans la plupart de ces derniers cas dépassait 3 dollars E.-U. par tonne en 1976.

3.5. Bibliographie de la section 3.4 (Récolte et séchage)

1. Rapport de M' Jemmali, qui a collaboré à la préparation du présent manuel.
2. Rapport de M. Homero Fonseca, qui a collaboré à la préparation du présent manuel.
3. Shiva Subrahmanian, S., Sheik Dawood, A., et Krishnan, R.H. (1972), Madras Agr. J. 59, 574.
4. Roy Adair, C. (1972) cité dans "Rice Chemistry and Technology" by American Association of Cereal Chemists, édité par E.E.Houston.
5. Angladette, A. "Le séchage du riz - Principes et techniques", bulletin de renseignements (officieux) N° 23, FAO.
6. Carl Bro. International A/S, Copenhague (Danemark) "Aflatoxin-free Groundnut Production in Developing Countries"

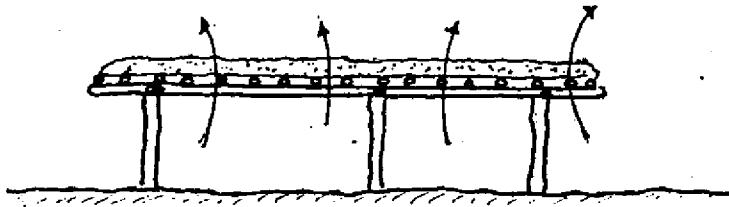


Fig. 5

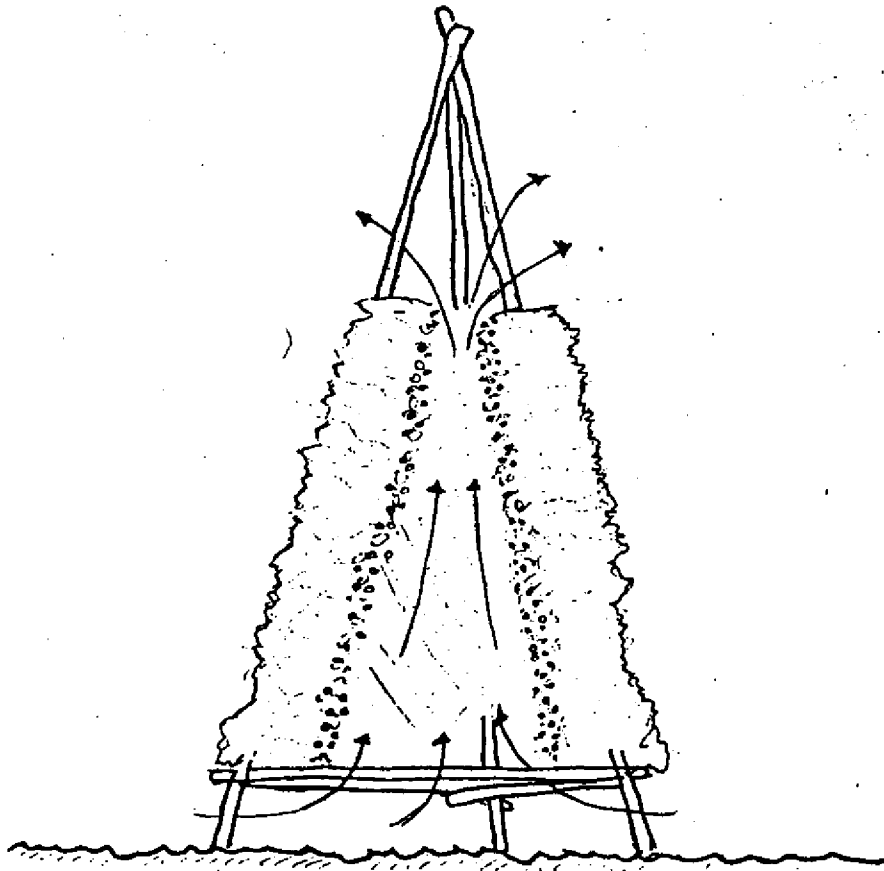


Fig. 6

3.6. Entreposage

3.6.1. PRINCIPES FONDAMENTAUX

La prévention des attaques par les champignons, les insectes et autres ravageurs des produits emmagasinés revêt une importance exceptionnelle pendant le stockage après la récolte. L'entreposage des céréales répond à des principes relativement simples. En premier lieu, le produit à stocker doit être conditionné de manière à atteindre un état stable dans lequel la respiration des semences et des micro-organismes associés est réduite au minimum. On y parvient en maintenant à un niveau très faible la teneur en eau des graines et l'humidité ambiante.

En second lieu, le produit doit être placé dans un conteneur ou autre structure apte à maintenir un environnement approprié, et à empêcher ou limiter l'entrée des insectes et des animaux nuisibles.

Enfin, les céréales doivent rester accessibles pendant toute la durée de leur entreposage pour un traitement supplémentaire si besoin est, pour entretenir de bonnes conditions notamment en ce qui concerne le chauffage et l'absorption d'humidité.

Comme bien souvent les cultures sont saisonnières, elles doivent être entreposées d'une saison sur l'autre. En zone rurale, les cultivateurs possèdent leurs propres installations d'entreposage, dans lesquelles ils conservent les céréales. Ces structures varient quant à leur type de construction, leurs dimensions et leurs matériaux (1,2). Les structures au-dessus du sol vont de la cellule et du petit local jusqu'aux grands entrepôts. Dans les pays en développement, on emploie des silos en maçonnerie ou en bois, constructions en paille et en bambou, et des silos en argile, cuite ou non. Pour l'entreposage commercial, il peut s'agir d'élévateurs du type "silo", de magasins pour l'emmagasinage en vrac ou d'entrepôts pour l'emmagasinage en sacs.

Pour prévenir les pertes tant en qualité qu'en quantité, le produit (récolte) doit être protégé contre les insectes, les rongeurs, les moisissures et toute détérioration biochimique. La protection contre les moisissures a pris une importance considérable à la suite d'une prise de conscience accrue des dangers des mycotoxines pour la santé humaine et animale. Le contrôle de la température et de l'humidité est un élément important de la prévention des moisissures. La lutte contre les insectes est non moins utile car ceux-ci peuvent créer des poches d'humidité élevée dans le produit entreposé, former des sites propices à l'infestation par des moisissures en pénétrant dans le produit, et transporter des spores de moisissures dans les foyers d'infestation. Les produits traités, comme la farine, les farines grossières et les tourteaux d'arachides, doivent être protégés pendant l'entreposage étant donné la présence de spores de moisissures viables et capables de produire des mycotoxines dès que les conditions s'y prêtent.

3.6.2. CONTROLE DE L'HUMIDITE ET DE LA TEMPERATURE

Il est nécessaire de bien sécher le produit avant de l'entreposer. L'Annexe 4 montre comment la teneur en humidité influe sur la formation de moisissures en cours d'entreposage des céréales à différentes températures et hygrométries. Il faut que les produits soient ramenés par séchage à un taux d'humidité inférieur à celui qui favorise le développement des moisissures. L'Annexe 5 donne les teneurs en eau recommandées pour certains produits destinés à être entreposés.

Il ressort d'études récentes que la mesure de l'activité hydrique du produit (eau libre, non combinée aux éléments constitutifs du produit) est plus directement liée à l'activité fongique que la teneur en humidité d'équilibre. On dispose maintenant d'instruments appropriés pour effectuer ces mesures sur le terrain. Pour le moment, la plupart des détecteurs d'humidité utilisés dans les pays en développement ne mesurent pas l'activité hydrique.

Comme il a déjà été dit, les installations d'entreposage utilisées de par le monde sont extrêmement diverses. Les besoins de ventilation et d'aération ne sont pas les mêmes pour les petits entrepôts de stockage en vrac ou en sacs et autres petits conteneurs, que pour les grandes installations de stockage en vrac. Dès qu'il se produit des moisissures ou que le produit commence à s'agglutiner dans ces différents types de structures, il faut s'occuper d'en déterminer la cause et prendre les mesures qui s'imposent. En général, les entrepôts de stockage doivent être construits de façon à éviter les infiltrations ou la diffusion d'humidité à travers les toits, les parois ou le plancher.

Quand on entrepose en vrac de grandes quantités de produits, les courants de convection peuvent donner naissance à des poches ou à des couches de grain fortement humides, même lorsque l'ensemble du lot est convenablement séché. Il importe par conséquent de disposer d'entrepôts bien ventilés pour permettre à l'air chaud et humide de s'échapper, et éviter la condensation sur les surfaces internes du bâtiment et la réhumidification du grain. L'expulsion de l'air chaud et humide de l'entrepôt favorise aussi le refroidissement du grain, ce qui réduit le développement des moisissures et l'activité des insectes.

Dans certains cas, la ventilation naturelle dans la partie vide des entrepôts de stockage en vrac n'est pas suffisante pour éviter la condensation de l'humidité, le moisissement et l'agglutination de la couche superficielle du grain. Il faut alors aérer au moyen de ventilateurs, pour évacuer l'air chaud et humide à travers des conduits perforés situés au-dessous du produit en vrac. L'aération refoule l'air chaud et humide avant qu'il n'entre en contact avec le grain frais ou les superficies internes fraîches de l'entrepôt, où l'humidité pourrait se condenser. Elle entraîne en outre de l'air frais et sec dans le grain, qui est ainsi refroidi, ce qui réduit la formation de moisissures et l'activité des insectes.

Lorsque le temps est chaud et humide, la ventilation ou l'aération peuvent être plus nuisibles qu'utiles. Si l'humidité relative et la température de l'air sont supérieures à celles qui règnent à l'intérieur de l'entrepôt, la ventilation ou l'aération risquent d'accroître la teneur en humidité et la température du grain. Dans les zones tropicales chaudes, où ces conditions sont la règle, il peut être nécessaire de trouver des solutions pour éviter que le produit sec n'absorbe de l'humidité pendant l'entreposage. La technique de la pressurisation, quand la récolte est sèche, empêche la pénétration de l'humidité pendant la saison humide, et son absorption par la récolte.

La méthode employée ("ballooning") consiste à placer une pellicule de polyéthylène de 0,06 mm sur le sol sur un bardage en toile de sac traitée, puis à envelopper la pile entière depuis le haut avec une autre pellicule de polyéthylène de 0,06 mm, en fermant hermétiquement les coutures avec des pinces. L'enveloppe plastique ainsi confectionnée doit être protégée des rongeurs; contre les insectes, on pulvérise des insecticides. La pressurisation protège aussi de la moisissure (cf. Annexe 3).

3.6.3. LUTTE CONTRE LES INSECTES DES ENTREPOTS

Les dégâts provoqués par les insectes et l'activité des moisissures présentent entre eux un double rapport:

- a) même dans le grain sec, l'activité métabolique des insectes augmente les taux d'humidité et crée un environnement favorable au développement des champignons (1);
- b) les insectes transportent inévitablement une microflore variée, y compris des champignons.

C'est pourquoi l'on constate que les invasions d'insectes sont toujours accompagnées de quelque infestation fongique.

Même dans l'entreposage du vrac, les mesures de désinfestation visant à combattre les insectes réduisent également l'activité fongique. Majumder *et al.* (3) ont signalé que, si on ne lutte pas contre les insectes, la croissance des moisissures augmente dans une proportion qui est de 10 à 30 pour cent dans les denrées suivantes: blé, haricot velu de la Basse Nubie, pois chiche du Bengale et pois rouge, grains de café, chicorée et coriandre, et qui peut atteindre 475 pour cent dans le sorgho.

Outre les insectes, les acariens sont aussi responsables de l'établissement de populations de cryptogames. On a constaté que plus de 36 genres d'acariens sont associés à 27 genres de champignons trouvés sur le blé, l'orge et l'avoine (4).

L'Annexe 3 décrit quelques méthodes de lutte contre les insectes des entrepôts. Pour plus de détails, consulter l'étude agricole de la FAO N° 79.

3.6.4. LA LUTTE CHIMIQUE CONTRE LES MOISSURES

Des substances chimiques très variées ont été expérimentées aux fins de la lutte contre les moisissures sur le grain humide. Des composés comme l'aureofongine, le thirame, le captan, l'orthophénylphénate, le benlate, la bouillie bordelaise, et certains acides organiques (propionique, sorbique, lactique, acétique, benzoïque, etc.) ont donné des résultats prometteurs (1,2). Les sels d'acides organiques conviennent aussi pour le traitement des semences.

Toutefois, les résultats montrent que, en cas d'entreposage prolongé, ces acides organiques et substances protectrices ne peuvent inhiber l'activité enzymatique propre des semences quand la teneur en humidité dépasse 16 pour cent, aux températures tropicales. Par contre, avec des températures inférieures à 15°C, toutes ces substances protectrices inhibent le développement des champignons et empêchent la détérioration enzymatique des céréales en cas de stockage prolongé (2,6).

Les fumigations avec des gaz stérilisants, s'ajoutant au séchage naturel, ont donné des résultats intéressants. Des expériences entreprises sur vaste échelle sur des arachides ont montré que les champignons saprophytes peuvent être combattus avec des fumigants (3) après la récolte.

On a constaté que, parmi les formules de fumigants solides expérimentés, les plus efficaces sont les combinaisons d'ammoniac et de phosphine. Des concentrations de 50 mg de phosphine associées à 50 mg d'ammoniac par litre ont une action fongicide dans les conditions du terrain. Les espèces de bacilles sporulents présents sur les arachides n'ont cependant pas pu être combattues par des combinaisons d'ammoniac et de phosphine, même à des dosages d'environ 200 mg par litre. Le développement des cryptogames a cependant pu être arrêté (1).

Voir l'Annexe 3 pour instructions et informations plus détaillées sur les fumigations; voir aussi l'Etude agricole de la FAO N° 79 (9).

On a pu lutter efficacement contre le développement de *A. flavus* sur le maïs entreposé au moyen de conservateurs des céréales, constitués par exemple de 2 pour cent d'ammoniac et de 1 pour cent d'acide propionique; mais cette mesure n'est peut-être pas très rentable. D'après une étude récente (6), la conservation d'épis de maïs très humides dans les cribs, obtenue en saupoudrant chaque couche avec du lindane (0,5 pour cent de composant actif), lorsque ce traitement est autorisé, s'est révélée très utile pour réduire, en cours d'emmagasinage, les pertes dues aux dégâts produits par les insectes et pour arrêter le développement des moisissures dont ils sont la cause.

3.6.5. PRATIQUES RECOMMANDEES PENDANT L'ENTREPOSAGE

Les deux principes fondamentaux de l'entreposage consistent à tenir le produit au sec et à l'abri des dégâts provoqués par les insectes, les champignons et les rongeurs. Les matières sèches sont aptes à absorber l'humidité du milieu ambiant. Il faut empêcher cela par des moyens appropriés. On évite les dommages occasionnés par les insectes soit en prévenant l'infestation soit en désinfestant le produit avant entreposage et en appliquant ensuite un programme de lutte continue qui peut inclure des fumigations périodiques. Les rongeurs doivent être combattus avec des pièges et des rodenticides, par l'élimination des gîtes propices et par des fumigations à proximité des terriers.

On trouvera ci-après un certain nombre de recommandations relatives à l'entreposage:

- a) pour un entreposage dans des conditions de sécurité, la teneur maximum en humidité (rapport de matière humide) doit être la suivante: 9 pour cent pour les graines d'arachides, 13,5 pour cent pour le maïs et le sorgho, 15 pour cent pour le paddy et les légumes secs (haricots). Si l'humidité dépasse ces seuils de sécurité, il faut sécher avant entreposage (cf. Annexes 4 et 5).
- b) éliminer, par criblage et vannage, la balle, les graines n'ayant pas atteint leur maturité, les semences présentant une coloration suspecte, les déjections d'insectes, les semences de plantes adventices, les pierres, le sable et autres matières réfractaires. Le maximum des matières étrangères et le total des matières réfractaires ne doivent pas dépasser 4 pour cent au niveau de l'exploitation.
- c) inspecter les produits et, si l'on décèle la présence d'insectes vivants, désinfester par fumigation.
- d) traiter les sacs en toile de jute, coton ou autres textiles contre les infestations, soit par fumigation soit par traitement insecticide avec des pesticides agréés (dans le passé, on a utilisé le malathion ou le lindane). La concentration des ingrédients actifs sur les récipients traités ne doit pas dépasser 150 mg par mètre carré.
- e) relever la température et l'humidité relative dans l'entrepôt, à l'aide de thermohygrographes, de thermomètres à bulbe humide ou sec, ou de tout autre instrument approprié.
- f) lorsque l'humidité relative dépasse 70 pour cent et que la température dans l'entrepôt excède 20°C, la teneur en humidité de l'arachide, du maïs, du sorgho, du paddy et des légumes secs tend à franchir les seuils de sécurité. L'humidité relative doit être maintenue au-dessous de 70 pour cent par une bonne ventilation ou aération, lorsque les conditions atmosphériques s'y prêtent. Avant et pendant la saison des pluies et quand l'atmosphère est en permanence très humide, les piles de produit doivent être couvertes ou enveloppées de pellicules de plastique. (La méthode de pressurisation sous feuille de plastique est décrite plus en détail à l'Annexe 3).
- g) afin de combattre une infestation qui sévit dans un entrepôt et sur ou dans les piles de sacs, on peut procéder à une pulvérisation prophylactique du bâtiment et des surfaces de sacs exposées ou employer des bâches imprégnées de pesticides appropriés et agréés. Dès que l'on constate des signes d'infestation à l'intérieur des produits, il faut fumiger avec des produits efficaces contre les insectes à tous les stades de leur développement (y compris les oeufs) et contre les champignons nuisibles.

- h) pour les fumigations à grande échelle, le bromure de méthyle ou le mélange de dibrométhane et de bromure de méthyle se sont avérés efficaces avec les températures tropicales. Lorsque les entrepôts ne sont pas étanches à l'air, il suffit d'employer des enveloppes de fumigation - pellicule de plastique, tissus alluminisé doublé de PVC, polyéthylène à haute densité doublé de nylon tissé - pour retenir les fumigants pendant la durée d'exposition requise. En Inde, un composé 1:3 de dibrométhane et de bromure de méthyle à 32 g/m³ a suffi pour une désinfestation complète contre les insectes des entrepôts et les champignons nuisibles. Les produits fumigants à base de phosphine sont aussi largement utilisés, dans de bonnes conditions de sécurité.
- i) aérer la pile à la fin de la période d'exposition pour chasser les fumigants absorbés. On utilisera des détecteurs pour vérifier que la pile a été complètement aérée.
- j) dans les entrepôts qui ne sont pas à l'abri des rongeurs, il faut protéger les piles contre ces animaux en supprimant les gîtes, en obstruant les voies d'accès, en posant des appâts rodenticides ou des poisons de piste, selon le cas. Le document N° 90 de la collection FAO: Progrès et mise en valeur - Agriculture, contient des informations plus détaillées sur ce sujet (5).
- k) fumiger les nids de rats en conditions de sécurité, avec un fumigant approprié et agréé: on a signalé l'efficacité de la phosphine, du cyanure d'hydrogène et d'une combinaison de 60:40 (p/p) de dibromure d'éthylène/bromure de méthyle.

Si l'on adopte les techniques appropriées comme celles qui viennent d'être décrites en se conformant aux procédures agréées, les rongeurs seront éliminés et les résidus de fumigants et de pesticides ne dépasseront pas en définitive les limites admissibles prescrites par de nombreux pays (7).

3.7 Transport

Le transport des zones rurales vers les centres urbains ou les usines de transformation peut se faire par charrette, camion, péniche, bateau et voie ferrée.

L'infestation des conteneurs servant au transport peut être une source de contamination pour les marchandises ainsi transportées. Il faut donc les désinfester régulièrement quand ils sont vides, par des pulvérisations d'insecticides agréés ou des fumigations appropriés. Quand leur usage est autorisé, les pesticides tels le lindane, le malathion, le bromure de méthyle et le dibromure d'éthylène sont efficaces pour la désinfestation des conteneurs. Les conteneurs doivent être d'abord débarrassés des rédisus des expéditions antérieures.

En cas de transit prolongé, il peut être utile, pour limiter les infestations de fumiger les conteneurs pleins quand ils parviennent à destination.

Si le voyage a lieu par temps pluvieux et humide, ou par voie fluviale et maritime la marchandise peut absorber de l'humidité. C'est pourquoi il faut s'assurer que l'expédition a une teneur sûre en humidité avant de l'entreposer. L'emploi de bâches, de la pressurisation, ou de conteneurs étanches prévient l'absorption d'humidité dans ces conditions de transport.

L'emploi de matériaux d'emballage résistant à la pénétration des insectes ou rendus répulsifs par un traitement chimique approuvé, joint à la pressurisation des piles de sacs, contribue à éliminer les risques d'absorption d'humidité et prévient les infestations réciproques pendant la manutention et le transport. Ces méthodes peuvent être utilisées avec les systèmes de transport, d'entreposage et de distribution à grande échelle du sorgho, du maïs, du riz, de l'arachide et autres produits usinés et traités (7).

3.8 Bibliographie des sections 3.6 Entreposage et 3.7 Transport

1. Majumder, S.K. et Natarajan C.P. (1963)
World Review of Pest Control 2, 25.
2. Sinha, R.M., et Wallace, H.A.H. (1965)
Canad. J. Plant Sci 45, 48.
3. Majumder, S.K., Narasimhan, K.S. et Parpia, H.A.B. (1965)
dans "Mycotoxins in Foodstuffs" Ed. G.H. Wogan. MIT Press.
4. Sinha, R.N. (1961) Canad. Ent. 93, 609.
5. Collection FAO: Progrès et mise en valeur - Agriculture N° 90 (1970)
"Manutention et emmagasinage des graines alimentaires dans les régions tropicales et sub-tropicales", 370 pages.
6. Patel, A.U., et Adesuyi (1975) Trop.
Stored Inst. Inf. 29, 33.
7. Majumder, S.K. (1970) Proc. III International Congress of
Food Sci. and Technol. (Actes du troisième Congrès international
de science et de technologie alimentaires), Washington, D.C., p. 513
8. Heiss, R. (1970) Principles of Food Packaging, an International
Guide FAO 225-269
9. Etudes agricoles de la FAO, N° 79 "La fumigation en tant que
traitement insecticide", 398 pages.

3.9 Traitement

Pendant le traitement, de nombreux produits sont exposés à des conditions susceptibles de favoriser le développement de moisissures et la contamination par les aflatoxines. Quand cela se produit, il faut chercher à éliminer ou atténuer le risque inhérent au mode de transformation ou mettre au point de nouvelles méthodes. On trouvera ci-après quelques exemples de procédés qui accroissent le risque de contamination par des mycotoxines:

3.9.1 RIZ (PADDY)

L'usinage du riz afin d'en éliminer la balle et une certaine quantité de son se pratique universellement et vise à améliorer l'aspect ainsi que la digestibilité de ce produit. Comme certaines vitamines sont associées au son, les nutritionnistes préconisent une élimination partielle du son.

On sait que le fait de garder le son sur le riz diminue notablement ses qualités de conservation. La présence de sucre dans le son rend le riz non poli ou partiellement poli plus hygroscopique que le riz poli. Le riz avec son retient donc davantage d'humidité que le riz poli et devient plus vulnérable à l'atteinte des insectes et des champignons.

L'étuvage est largement pratiqué afin d'accroître le rendement du riz entier et d'améliorer ses qualités culinaires et nutritionnelles. La méthode traditionnelle de l'étuvage consiste à tremper le paddy dans l'eau pendant trois jours, puis à le passer à la vapeur, à le sécher et à l'usiner. Le temps de trempage est suffisamment long pour permettre une prolifération bactérienne susceptible de provoquer une modification de la couleur et la formation d'odeurs anormales. On ne dispose d'aucune information en la matière, mais il n'est pas impossible que les grains de riz soient porteurs de toxines bactériennes.

Avec l'étuvage moderne, le trempage du riz se fait à l'eau chaude, ce qui raccourcit considérablement la durée de l'opération et limite les possibilités de croissance microbienne.

Si le séchage est insuffisant pour ramener le riz étuvé à un niveau de sécurité ou retardé par une hygrométrie élevée ou un temps pluvieux, il se crée des conditions qui favorisent la multiplication des moisissures et éventuellement la production de toxines. Dans le sud du Karnataka (Inde), les cultivateurs conservent le riz étuvé dans des paniers en paille et l'entreposent dans leur cuisine au-dessus du foyer. Une étude récente de l'Institut central de recherches technologiques alimentaires de Mysore a révélé que ce riz est pratiquement exempt de croissance microbienne, alors que le riz étuvé stocké de la manière classique, en boîte, en récipient ou en sac, absorbe l'humidité de l'atmosphère et moisit. (On n'a pas déterminé si cette méthode d'entreposage comporte des facteurs autres que la croissance microbienne, susceptible d'avoir des effets sur la santé humaine). L'étude a également mis en évidence que les champignons le plus fréquemment responsables de la contamination du riz étuvé appartenaient aux espèces Aspergillus et Penicillium, et qu'un grand nombre des échantillons moisis contenait des aflatoxines.

Après étuvage, on peut étaler le paddy sur un sol cimenté pour le faire sécher au soleil. On assure un séchage uniforme en retournant régulièrement le paddy à la main. Le riz étuvé doit être entreposé avec une teneur en humidité inférieure à 14 pour cent.

En résumé, conserver le son en se limitant à un polissage fragmentaire du riz favorise les infestations par les insectes et les champignons. Un séchage insuffisant avant entreposage du riz étuvé facilite la croissance des champignons et la formation de mycotoxines.

3.9.2 LEGUMES SECS

On peut procéder à l'usinage des légumes secs en faisant ramollir la pellicule dans un mélange d'huile et d'eau, en faisant sécher au soleil puis en décortiquant à la machine.

L'un des traitements des pois cassés rouges consiste à faire tremper d'abord les graines dans de l'eau pendant 4 à 12 heures; on vide ensuite l'eau de trempage et on mélange les graines à une pâte de terre rouge et d'eau. Le mélange est conservé en tas pendant 16 heures, puis on l'étale sur une aire de séchage. Pendant deux à quatre jours, on continue à l'étaler pendant le jour et à l'empiler pendant la nuit, jusqu'à ce que les grains soient complètement épluchés. Manipulation et séchage doivent être effectués soigneusement pour éviter le moisissement pendant cette opération.

Plus de 70 pour cent des légumes secs sont stockés et consommés en milieu rural, où les facilités de séchage rapide sont insuffisantes. Il s'ensuit qu'ils sont souvent entreposés très humides. Etant donné que les champignons se développent inévitablement sur de tels produits, les transformateurs devraient avoir grand soin de n'acheter que des lots sains. Ils devraient aussi adopter des méthodes améliorées garantissant un séchage aussi rapide que possible si, avant d'être usinés, les légumes secs sont conditionnés (humidifiés pour des raisons technologiques). Si les produits humidifiés avant usinage tardent à sécher, ils risquent d'être gâtés par des champignons.

3.10 Décontamination

On a examiné, dans les sections qui précèdent, les facteurs qui favorisent la croissance de champignons sur les céréales vivrières et les graines oléagineuses en cours de culture, d'entreposage, de manutention et de traitement, et décrit les méthodes de prévention de la croissance microbienne.

Il peut n'être pas toujours possible de protéger toutes les céréales produites dans un pays. Pendant le stockage, les graines qui échappent au traitement ordinaire visant à limiter la croissance fongique risquent d'être contaminées par des aflatoxines ou autres mycotoxines. Ces produits nécessitent un traitement spécial destiné à éliminer, détruire ou inactiver les toxines contaminantes.

Un procédé de décontamination doit être techniquement et économiquement viable. En outre, pour être acceptable, il lui faut répondre aux critères ci-après, c'est-à-dire qu'il doit:

- i) détruire, inactiver ou éliminer la mycotoxine;
 - ii) ne pas produire ou laisser de résidus toxiques ou cancérogènes/mutagènes dans les produits finals ou les denrées alimentaires obtenues à partir d'animaux nourris avec du fourrage décontaminé;
 - iii) conserver au produit sa valeur nutritive et son acceptabilité;
 - iv) ne pas modifier significativement des propriétés technologiques importantes du produit;
- enfin, il doit en principe
- v) détruire les spores fongiques et les mycètes susceptibles, en conditions favorables, de proliférer et de former de nouvelles toxines.

Les méthodes de décontamination actuellement appliquées se distinguent selon qu'elles comportent:

- a) la séparation physique des matériaux contaminés par les mycotoxines;
- b) l'élimination des mycotoxines; et
- c) l'inactivation ou la dégradation totale des mycotoxines.

Des études poussées ont été réalisées sur les aflatoxines, mais on est peu renseigné sur les autres mycotoxines. L'aflatoxine étant la plus puissante et la plus répandue de toutes les mycotoxines isolées jusqu'ici, on essaiera dans les pages ci-après d'examiner de plus près les renseignements disponibles sur la décontamination des aflatoxines. Bien qu'aucun des procédés chimiques ou traitements solvants expérimentés ne soit encore commercialement exploitable, plusieurs font l'objet de recherches actives pour divers produits. C'est pourquoi, on ne décrira dans la présente publication que les méthodes recommandées à divers titres pour la séparation physique des matières contaminées et l'inactivation des aflatoxines par la lumière solaire, dans l'huile d'arachide et par traitements thermiques.

On notera cependant que, auprès d'un certain nombre de centres, des travaux sont en cours sur des procédés faisant appel à l'extraction par solvants (méthoxyméthane, par exemple) ou à la détoxification chimique à l'ammoniac gazeux ou l'eau oxygénée. L'extraction par solvants n'a pas encore enregistré de succès, notamment pour des motifs économiques; par contre, il a été démontré que le traitement par l'ammoniac gazeux est efficace pour la farine de graines de coton, la farine d'arachide et le maïs. Des études sont en cours pour déterminer la sécurité d'utilisation des produits détoxifiés aux fins de l'alimentation animale.

3.10.1 SEPARATION PHYSIQUE DES MATIERES CONTAMINEES PAR DES MYCOTOXINES

L'infestation fongique d'une céréale ou d'une semence produit en général une coloration caractéristique ou d'autres particularités physiques (cf. figures 7 et 8). En conséquence, le triage de ces semences ou céréales par un moyen quelconque constitue un moyen efficace de réduire sensiblement la contamination par les mycotoxines.

Le triage suivant la couleur est couramment employé pour les arachides, les grains de café et autres produits de dimensions analogues, soit au moyen de trieuses électroniques soit par sélection manuelle (cf. figure 9), soit encore par une combinaison de ces deux méthodes pour plus d'efficacité.

Avec le blé ou le mil, la contamination par l'ergot est un phénomène fréquent et les semences affectées sont éliminées par flottation (1), par suspension dans une solution de chlorure de sodium, ou par triage à l'air.. Comme les sclérotés atteints sont plus légères que les graines saines, elles peuvent être éliminées par l'une ou l'autre de ces méthodes.

A tous les stades de la manutention et du traitement, il faut procéder avec un soin extrême pour éliminer toute parcelle de matériel moisie ou suspecte de contenir des mycotoxines. Un sac, un bloc, un lot ou toute autre "unité" de produit moisie peuvent être éliminés sans difficulté pendant l'entreposage, la manutention ou la transformation, mais il est très difficile d'éliminer isolément des grains moisies une fois qu'ils ont été mélangés à du grain non moisie. La portion de produit moisie et mise de côté peut ensuite être traitée séparément, pour enlever les grains moisies, ou être affectée à des utilisations non alimentaires. Cette méthode est beaucoup moins coûteuse que le traitement du lot entier.

L'examen des produits entreposés montre si des moisissures ou des agglutinations se sont formées. Les produits endommagés devraient être enlevés du magasin avant qu'ils se mêlent à des produits non moisies. Les produits très humides devraient également être mis à part pour être séchés ou recevoir d'autres traitements spéciaux.



Figure 7: Arachides. Les flèches signalent les graines ayant subi des modifications de couleur.

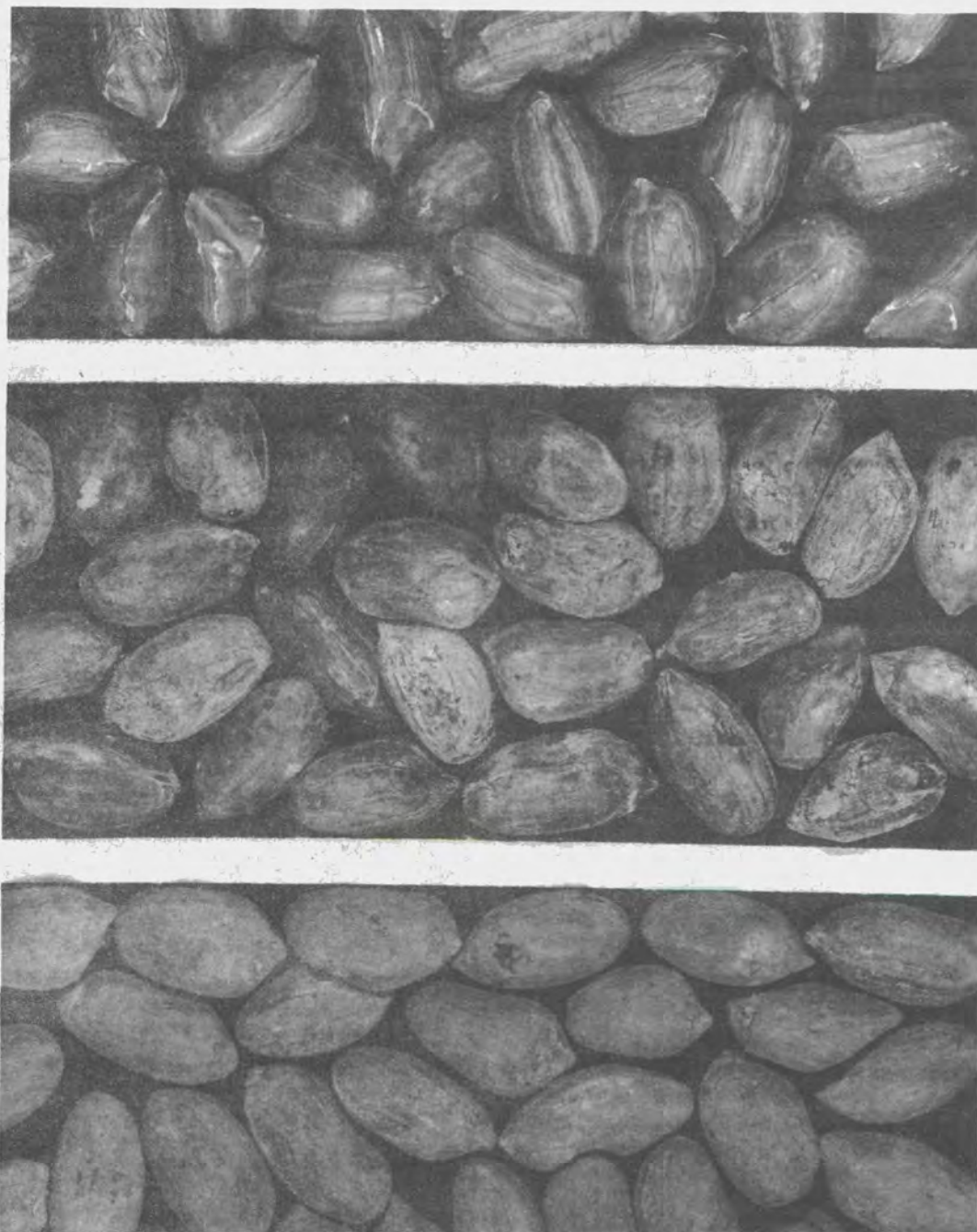


Figure 8: Arachides. En haut: graines saines; au centre, graines atteintes, de couleur anormale; en bas, graines atteintes, décolorées.

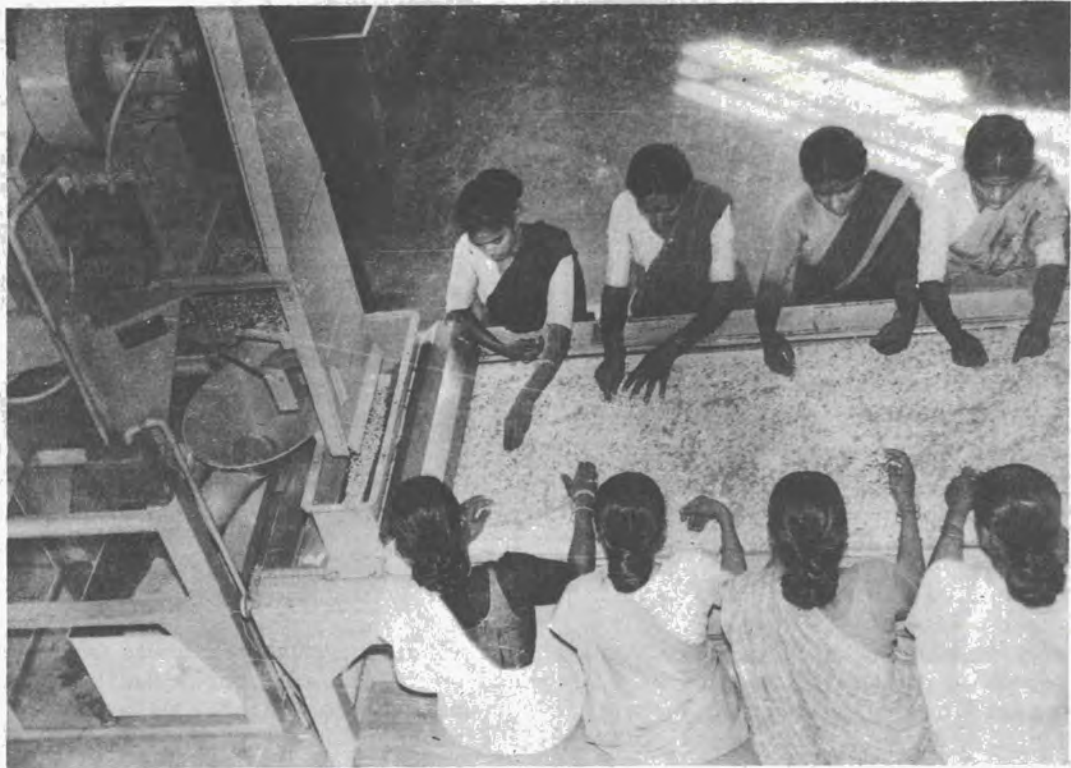


Figure 9: Séparation physique de graines d'arachides (de couleur différente) contaminées par des mycotoxines, par tri à la main dans une huilerie.

Les graines petites et rabougries, endommagées par les insectes ou brisées, qui contiennent fréquemment des concentrations élevées d'aflatoxines, peuvent être enlevées par tamisage et/ou par aspiration.

3.10.2 SEPARATION PHYSIQUE DES ARACHIDES CONTAMINEES PAR LES AFLATOXINES

De nombreuses mesures peuvent être prises pour isoler les graines contaminées par des aflatoxines dans les lots d'arachides. Il convient d'étudier l'aspect économique de chacune d'elles pour déterminer si l'accroissement de valeur qui en résulte justifie le coût de l'opération. L'incidence de l'infestation par A. flavus et de la contamination par les aflatoxines étant généralement plus élevée dans les graines décortiquées accidentellement pendant les opérations de récolte et de manutention, il est bon de procéder à un criblage avant d'envoyer le lot à la décortiqueuse. En outre, comme les graines provenant de gousses endommagées contiennent généralement davantage d'aflatoxines, il convient de les éliminer par triage chaque fois que cela est économiquement réalisable.

Après les opérations de décortilage et de calibrage, les graines décortiquées peuvent être triées par balayage électronique ou à la main, pour éliminer celles qui sont moisies. Cela peut se révéler impraticable si la pellicule qui recouvre les graines saines est de couleur très variable. Une autre méthode consiste à enlever la pellicule ou le test par blanchiment puis à éliminer les graines de couleur différente par triage électronique ou manuel. Dans ce cas, les graines encore revêtues de leur pellicule au terme de l'opération doivent aussi être enlevées soit à la main soit suivant leur couleur car souvent ce sont les moisissures qui font adhérer la pellicule à la graine.

3.10.3 ELIMINATION DES AFLATOXINES DANS L'HUILE

Une grande partie des aflatoxines existant dans l'huile d'arachide brute se trouve à l'état de suspension et peut être séparée au moyen d'un filtre approprié. Les toxines restantes peuvent être éliminées par absorption sur une matière adaptée. On a mis au point un filtre (2) qui peut être adopté sans difficulté dans des huileries modernes à la place du filtre en coton actuellement utilisé. Ce nouveau filtre, qui peut éliminer la toxine à 95, voire 100 pour cent, semble résoudre de façon simple le problème des aflatoxines dans l'huile d'arachide non raffinée.

3.10.4 INACTIVATION DES AFLATOXINES PAR LA CHALEUR

Si l'aflatoxine ne peut être complètement éliminée, la seconde solution consiste à l'inactiver, soit par modification irréversible du composé par un procédé chimique, soit par altération des groupes actifs de la molécule.

Des études récentes réalisées à l'Institut central de recherches technologiques alimentaires de Mysore (Inde), ont permis d'enregistrer la destruction de l'aflatoxine à près de 70 pour cent par cuisson du riz à la pression de la vapeur (3). La cuisson à la pression atmosphérique est à même de détruire environ 50 pour cent de la toxine. Les marmites à pression sont de plus en plus utilisées pour cuire les aliments, notamment dans les ménages urbains. Cela peut contribuer à réduire dans une mesure appréciable les dangers de cette toxine.

La torrification à sec et à l'huile des arachides diminue sensiblement les taux d'aflatoxine. On a signalé une réduction d'environ 65 pour cent de la teneur en aflatoxine B1 avec la torrification à l'huile et d'environ 69 pour cent avec la torrification à sec (4). Dans une étude ultérieure, on a constaté que la torrification à sec avait abaissé de 40 à 50 pour cent la teneur initiale en aflatoxine B1 (5). Les aliments qui, même après cuisson, contiennent de fortes concentrations d'aflatoxine, restent cependant une menace sérieuse, de même que ceux qui sont fréquemment contaminés par les aflatoxines et ne font pas l'objet d'un traitement thermique approprié.

3.10.5 INACTIVATION DES AFLATOXINES PAR LA LUMIERE

La lumière a été utilisée avec succès pour détruire l'aflatoxine dans l'huile d'arachide non raffinée. Des études récentes (5) ont montré que la lumière visible est plus efficace que l'ultra-violette ou l'infrarouge, et que la lumière du soleil est de loin le meilleur agent de destruction totale des aflatoxines. Des essais réalisés à l'Institut central de recherches technologiques alimentaires de Mysore (Inde) montrent que de l'huile contenue dans de petites bouteilles transparentes et exposée à la lumière directe du soleil pendant une heure, est décontaminée. L'aflatoxine photodégradée n'est pas régénérée même après un entreposage prolongé, si l'on en juge par l'absence de toxicité de l'huile d'arachide traitée dans des essais sur des animaux. Il n'a pas été fait d'essais à grande échelle. La viabilité commerciale de la détoxification demande néanmoins que les dispositions nécessaires soient prises pour assurer une exposition maximale de l'huile à la lumière du soleil pendant au moins une heure. Elle dépend aussi de l'intensité de la lumière du soleil. Une exposition d'une heure pendant la période la plus claire du jour, lorsque l'intensité lumineuse est de l'ordre de 50 000 lux, devrait suffire pour détruire totalement la toxine. Enfin, pour que le procédé soit commercialement viable, il faut aussi pouvoir éviter des modifications indésirables de la saveur.

Si l'on résume les méthodes pratiques de décontamination des aliments infectés, on peut dire que la séparation physique des céréales ou graines oléagineuses constitue une méthode efficace et pratique de réduction de la contamination par les mycotoxines. Elle peut se faire soit à la main, soit au moyen d'un trieur électronique. La cuisson du riz à la pression de la vapeur, la torrification des arachides, la photodégradation des aflatoxines présentes dans l'huile d'arachide ou le filtrage de l'huile à travers un filtre absorbant spécial sont également des méthodes permettant de minimiser la contamination de ces produits par les aflatoxines.

3.11 Récupération de produits exempts d'aflatoxines à partir de substances contaminées

3.11.1 MAIS

On a signalé l'existence d'une étude sur la répartition des aflatoxines dans différentes fractions du produit résultant de l'usinage de maïs contaminé par la toxine. D'après cette étude, les gruaux ne contenaient qu'un dixième environ des aflatoxines présentes dans le lot de grains entiers dont ils provenaient. Dans la farine grossière, la teneur en aflatoxine B1 représentait 13 à 16 pour cent de celle du maïs entier, et dans la farine le niveau allait de 30 à 70 pour cent environ, suivant la concentration initiale d'aflatoxines.

L'usinage de maïs par voie humide est utilisé pour produire de l'amidon, de l'huile et d'autres produits. Les études relatives à la contamination par les aflatoxines en cours de traitement montrent que l'amidon, l'huile et la plupart des autres produits sont exempts d'aflatoxine et que celle-ci se trouve concentrée à 80-90 pour cent dans la fraction gluten pour alimentation animale (eau de trempage, fibre et grain épuisé), qui doit être éliminée ou affectée à d'autres usages (8).

3.11.2 ARACHIDES

Quand on presse les arachides pour en exprimer l'huile, environ 85 pour cent des aflatoxines restent dans le tourteau (9). Un bon raffinage donne une huile d'arachide dans laquelle on ne peut déceler d'aflatoxines. A la section 3.10.3 qui traite de la décontamination on a décrit une méthode permettant d'éliminer de l'huile d'arachide non raffinée la contamination par les aflatoxines par un procédé de filtrage et une autre dans laquelle les aflatoxines sont détruites par exposition à la lumière solaire. Le tourteau contaminé peut servir à l'alimentation animale, à condition que la teneur en aflatoxines du produit final reste acceptable. Les tourteaux contenant des taux très élevés d'aflatoxines doivent être utilisés comme engrais. On peut aussi employer pour les farines grossières des méthodes de détoxification (10, 11), mais celles-ci sont peu utilisées à l'heure actuelle en raison de leur coût.

3.12 Bibliographie des sections 3.10 et 3.11

Décontamination et récupération de produits exempts d'aflatoxines à partir de substances contaminées.

1. Singh, R.S. (1968) dans "Plant diseases", p. 168 Oxford & IBM Publishing Co., New Delhi.
2. Basappa, S.C. et Sreenivasa Murthy, V. (données inédites - Institut central de recherches technologiques alimentaires, Mysore, (Inde)).
3. Fasiha Rehania et Sreenivasa Murthy, V. (données inédites - Institut central de recherches technologiques alimentaires, Mysore, (Inde)).
4. Eschor, F.E., Koehler, P.E. et Ayers, J.C. (1973) J. Food Sci. 38, 889.
5. Waltking, A.E. (1971) J. AOAC 54, 533.
6. Shanta, T. et Sreenivasa Murthy, V. (1977) Ind. J. Techn. (sous presse).
7. Brekke, O.L. Paplinski, A.J., Nelson, G.E.N., et Griffin, E.L. (1975) Cereal Chem. 52, 205
8. Yahl, K.R., Watson, S.A., Smith, R.J. et Barabolok, R (1971), Cereal Chem. 48, 385.
9. Basappa, S.C., et Sreenivasa Murthy, V (1974), J. Food Sci. and Technol. 11, 196.
10. Sreenivasa Murthy, V., Parpia, H.A.B. Srikanta, S. et Shankar Murbi (1967) J.A.O.A.C. 50, 350.
11. Hann, G.E., Codifer, L.P., Gardner, H.K., Koltum, S.P. et Dollear, F.G. (1970) J. Amer. Oil Chem. Soc. 47, 1973.

3.13 Utilisation de produits moisissus ou contaminés par des mycotoxines

Comme il n'est pas toujours possible d'éviter le moisissement des denrées agricoles ou leur contamination par les mycotoxines, il est extrêmement important de prévoir d'autres utilisations pour les produits contaminés, afin de réduire la perte économique du producteur et d'encourager le recyclage de ces produits dans des conditions acceptables. Les méthodes de traitement classiques donnent, à partir de certains produits, des composants exempts de mycotoxines. Les opérations habituelles d'usinage et de mélange intervenant dans la fabrication de ces aliments ramènent aussi la concentration en mycotoxines à des niveaux acceptables pour certains animaux. Néanmoins, l'efficacité de production de certains animaux peut se trouver diminuée, même avec une faible concentration de mycotoxines, et l'on risque que la contamination se transmette à certains produits d'origine animale consommés par l'homme. Ces problèmes et des idées de solutions sont également examinés de façon assez détaillée dans la publication intitulée "Surveillance des mycotoxines - directives", Collection FAO: Contrôle des aliments, N° 4.

On est très peu renseigné quant aux effets de faibles concentrations de mycotoxines sur la vulnérabilité des animaux aux maladies et l'efficacité de leur production de viande, de lait ou de travail. Il a été démontré qu'une partie des mycotoxines ingérées peut passer dans les tissus animaux et le lait. Les vaches peuvent transmettre à leur lait, sous forme d'aflatoxines M₁, jusqu'à 3 pour cent des aflatoxines qu'elles ont ingérées. Ce pourcentage est faible, mais le risque se trouve accru du fait que le lait est souvent consommé

par des enfants ou de jeunes animaux dont on sait ou dont on soupçonne qu'ils sont plus sensibles aux effets de la toxine que les adultes ou les animaux plus âgés. Il est donc indispensable de maintenir à de très faibles niveaux les taux d'aflatoxine présents dans les fourrages.

Si l'on mélange en proportions correctes les substances contaminées à la ration, la concentration de mycotoxines diminue par dilution. Les différentes tolérances concernant la teneur en mycotoxines de la ration devraient être fixées en fonction de l'espèce et de l'âge de l'animal et de l'utilisation finale des produits animaux. L'annexe 6 montre comment établir les mélanges en fonction de leurs effets sur la santé animale ou la productivité; il convient toutefois de souligner qu'il ne s'agit que d'un exemple. De nombreux pays réglementent ces usages. Les réglementations autorisant ces admixtions ont été élaborées compte tenu des recherches les plus récentes et de l'interprétation toxicologique pour l'ensemble de la chaîne alimentaire. Quelles que soient les circonstances dans lesquelles on envisage de pratiquer des mélanges, il est indispensable de s'informer des réglementations en vigueur.

En résumé, le mélange de matières contaminées par des toxines avec des matières qui en sont exemptes abaisse le taux effectif de mycotoxines. Dans le maïs transformé, la majeure partie des aflatoxines est concentrée dans la fraction gluten pour l'alimentation animale; dans les arachides traitées par expulsion 15 pour cent du total des aflatoxines se trouvent dans l'huile et le reste, soit 85 pour cent, passe dans la farine grossière. La farine de tourteaux d'arachides contaminée par des aflatoxines peut être utilisée pour l'alimentation animale à condition que le niveau d'aflatoxines du mélange final ne dépasse pas les limites autorisées pour le bétail et la volaille par exemple. D'autre part, on peut aussi raffiner l'huile d'arachide ou la passer dans un filtre revêtu d'une matière absorbante, ou encore photodégrader les aflatoxines en exposant l'huile à la lumière solaire pendant une heure.

TROISIEME PARTIE

4. LES IMPERATIFS ET LES MOYENS DE LA MISE EN OEUVRE DES PRATIQUES RECOMMANDEES

4.1 Base de données et surveillance continue

L'impératif majeur, pour tout programme d'action, consiste à déterminer quelles sont les cultures d'une région donnée qui sont sensibles à l'atteinte fongique et à quels stades elles sont exposées à une infestation entraînant la formation de mycotoxines. Ces renseignements ne peuvent provenir que d'enquêtes exhaustives visant à identifier :

- a) les cultures et produits à haut risque, et
- b) les régions à haut risque.

A ces paramètres il faut ajouter, s'agissant notamment des régions dans lesquelles d'importantes proportions de produits vulnérables sont consommées par la population locale, l'identification des

- c) populations et groupes d'âge à haut risque.

Les enquêtes destinées à établir des données présumées fiables permettant de se prononcer dans ces trois domaines devraient inclure l'analyse des produits destinés à l'alimentation humaine et animale aux fins de détermination des mycotoxines à tous les stades de la chaîne alimentaire, depuis la culture jusqu'aux traitements après récolte, y compris s'il y a lieu la décontamination, en passant par la récolte, le séchage, l'entreposage et le transport, ainsi qu'une étude des utilisations ménagères tant des matières premières que des produits.

Une identification fiable des paramètres du "haut risque" permettrait de canaliser convenablement les efforts et les ressources vers les maillons de la chaîne alimentaire sur lesquels on pourrait obtenir un effet maximum. En ce qui concerne les populations et les groupes d'âge à haut risque, l'éducation et l'encouragement à consommer de meilleurs aliments et à acquérir de meilleures habitudes nutritionnelles (enfants) nécessiteront dans certains cas l'introduction de nouveaux régimes alimentaires suffisants et acceptables du point de vue nutritionnel.

Les études sur l'efficacité des actions engagées dans cette voie, devront comporter des programmes de surveillance continue des produits alimentaires, des régimes et de l'état sanitaire des populations, éventuellement pendant des périodes prolongées. Tous ces éléments sont examinés dans la publication intitulée "Surveillance des mycotoxines - Directives", Collection FAO: Contrôle des aliments, N° 4.

4.2 Education et vulgarisation

L'identification des denrées, des régions et des populations à haut risque est assortie de l'obligation d'informer les populations des dangers que comporte la consommation d'aliments moisiss.

Il faudrait encourager les collectivités agricoles à modifier les pratiques culturelles de manière à éliminer ou diminuer considérablement les cas dans lesquels la croissance des champignons est favorisée. Le rôle du vulgarisateur est vital dans cette partie des programmes éducatifs car c'est lui qui relaie les informations aux agriculteurs, aux commerçants, aux services sanitaires et aux consommateurs. Il doit recourir, dans la mesure où elle s'y prête et où il en dispose, à toute la panoplie de "l'industrie" moderne des communications, entre autres aux entretiens à tous les niveaux, aux brochures rédigées en dialecte, aux auxiliaires audio-visuels et aux démonstrations.

4.3 Commercialisation, distribution et incitations

Il faut savoir que la commercialisation des cultures et produits susceptibles d'être contaminés par les mycotoxines emprunte, de par le monde, les systèmes les plus divers. Ainsi, dans certains pays, les petits cultivateurs produisent un nombre limité de denrées, destinées essentiellement à leur propre consommation ou à la vente sur place. Il n'est pas rare aussi que la partie de la récolte qui excède les besoins de la famille ou même du village soit offerte à la vente sur des marchés plus importants. Ces produits ne sont pas nécessairement soumis aux contrôles de qualité ou aux appréciations d'un marché national ou international.

Sur une plus grande échelle, les chambres de commerce peuvent intervenir, notamment pour certains produits, comme l'arachide, qui font l'objet d'une demande plus large, à l'échelle nationale et internationale. Ces organismes ont petit à petit mis au point des systèmes de classement et de contrôle de la qualité. Ces pratiques, instituées en grande partie pour répondre aux conditions stipulées par les pays importateurs sur la base de critères d'hygiène et de qualité, ont amené une amélioration et une régularisation des prix, tant pour les producteurs que pour les exportateurs.

De toute évidence donc, le fait que le producteur soit assuré d'obtenir un prix plus élevé pour un produit de meilleure qualité et non contaminé, peut encourager non seulement l'adoption des diverses recommandations contenues dans la première partie de la présente publication, mais aussi la mise en place de réseaux de commercialisation et de distribution améliorés.

Quand le gouvernement d'un pays entreprend ou domine l'ensemble des opérations commerciales relatives aux cultures et aux produits susceptibles d'être contaminés par des mycotoxines, il a intérêt à prévoir des prix suffisamment encourageants pour que le produit réponde à des critères de culture, de récolte, de manutention, d'entreposage et de transport conçus de manière à garantir que seuls des produits de premier choix et non contaminés apparaissent sur les marchés mondiaux.

- - - - -

ON TROUVERA DANS LES PAGES CI-APRES
LES ANNEXES 1 A 7

Annexe I

Mycotoxines produites par différents champignons et denrées alimentaires auxquelles elles sont associées

<u>Toxine</u>	<u>Organisme</u>	<u>Produits alimentaires affectés</u>	<u>Quelques effets toxiques</u>
1. Aflatoxines*	<u>Aspergillus flavus</u> <u>A. parasiticus</u>	Arachides et produits dérivés, riz, maïs, autres fruits à coques et semences, graines de coton, noix de coco, blé, noix, lait, fromage	Cancer du foie et du rein, proliférations dans le canal biliaire, infiltrations graisseuses dans le foie des animaux
2. Stérigmatocystine*	<u>A. versicolor</u>	Céréales	Hépatome chez le rat
3. Ochratoxines*	<u>A. ochraceus</u>	Céréales	Maladies du foie et du rein chez le rat
4. Acide aspergillique	<u>A. flavus</u>	Céréales	Antimicrobien et toxique pour la souris
5. Acide kojique*	<u>A. flavus</u> et autres espèces d' <u>Aspergillus</u>	Céréales	Antimicrobien, toxique pour les mammifères
6. Acide bêta-nitropropanoïque	<u>A. flavus</u>	Céréales	Toxique pour l'homme et les animaux
7. Toxine trémorgène	<u>A. flavus</u>	Maïs et autres produits destinés à l'alimentation humaine	Tremblement continu de la souris
8. Lutéoskyrine	<u>Penicillium islandicum</u>	Riz	Toxicité pour le foie (hépatome)
9. Rugulosine	<u>P. rugulosum</u>	Riz	Néphrose et lésions du foie
10. Peptide contenant du chlore	<u>P. islandicum</u>	Riz	Hépatome cytotoxique chez les animaux
11. Islanditoxine	<u>P. islandicum</u>	Riz	

* Mycotoxines décelées en tant que contaminants naturels.

Annexe I (suite)

Toxine	Organisme	Produits alimentaires affectés	Quelques effets toxiques
12. Citrinine*	<u>P. citrinum</u>	Riz	Néphropathie automicrobienne chez les animaux
13. Citréoviridine	<u>P. citreo-viride</u> et autres espèces de <u>Penicillium</u>	Riz	Paralysie chez les mammifères
14. Rubratoxines	<u>P. rubrum</u>	Maïs	Infiltrations graisseuses dans le foie du rat
15. Patuline*	<u>P. expansum</u> <u>A. clavatus</u>	Pommes, riz, aliments pour animaux	Antimicrobien; phytotoxique; cancérogène pour le rat
16. Acide pénicillique*	<u>P. puberulum</u> <u>P. cyclopium</u>	Maïs	Antimicrobien; cancérogène pour le rat
17. Acide cyclopiazonique	<u>P. cyclopium</u>	Produits destinés à l'alimentation humaine et animale	Convulsions chez le rat; graves lésions de la rate et du rein
18. Psoraïènes	<u>Sclerotinia</u> <u>Sclerotiorum</u>	Céleri	Toxique pour l'homme et les animaux; dermatites
19. Toxine de stachybotrys	<u>Stachybotrys atra</u> <u>S. alternans</u>	Paille	Animaux de ferme et autres; homme. Stachybotryotoxiose (toxicité dermique)
20. Toxine ATA	<u>Furarium</u> <u>sporotrichioides</u>	Avoine, blé, orge	Aleucie d'origine alimentaire chez l'animal et l'homme (dyscrasie du sang)
21. Diacétoxy-scirpénol*	<u>F. scirpi</u> <u>F. tricinatum</u>	Blé, orge, seigle, maïs	Nécrose de la peau et lésions oculaires chez le rat
22. Toxine T-2*	<u>F. tricinatum</u> <u>F. nivale</u>	Céréales, maïs, fétuque	Nécrose épidermique du rat; "Fescue Foot of Cattle"

* Mycotoxines décelées en tant que contaminants naturels.

Toxine	Organisme	Produits alimentaires affectés	Quelques effets toxiques
23. Nivaléno [*] Déoxyvaléno [*]	<u>F. nivale</u>	Riz	Inhibition de la synthèse de l'ADN
24. Fusarénone	<u>F. nivale</u>	Riz et céréales	Inhibition de la synthèse protéique chez la souris
25. Buténolide	<u>F. nivale</u>	Maïs, fétuque, céréales, foin	"Fescue foot of cattle" et nécrose de la queue
26. Zéaralénone [*]	<u>F. graminearum</u>	Maïs, foin, orge, fourrage	Hyperoestrogénie chez les animaux
27. Sporidesmines [*]	<u>Pithomyces chartarum</u>	Pâturage	Eczéma facial chez les animaux
28. Toxine de rhizoctonia	<u>Rhizoctonia leguminicola</u>	Foin, sainfoin	Bave des bovins et chevaux
29. Ergot	<u>Claviceps spp.</u>		Gangrène

* Mycotoxines décelées en tant que contaminants naturels.

Annexe 2

Mycotoxicooses probablement provoquées par les rouilles et les charbons^{1/}

Pays	Organisme	Animal	Symptomes
Angleterre	<u>Tilletia tritici</u>	Chien	Convulsions épileptiformes et méningite cérébrale aiguë
Angleterre	<u>T. tritici</u>	Poulet	Lésions de la crête, des ergots et des muqueuses
Etats-Unis d'Amérique	<u>Ustilago zeae</u>	Homme	Toxicose
Roumanie	<u>Puccinia graminis</u>	Cheval	Intoxication mortelle, salivation et stomatite
Russie	Charbon	Porc	Conjonctivite, irritation des voies respiratoires supérieures, oedème pulmonaire
Egypte	<u>Puccinia sp.</u>	Buffle, mouton et rat	Stimulation du muscle utérin
Russie	<u>Ustilago hordei</u>	Porc	Ictère conjonctival des muqueuses et de la peau, oedème pulmonaire (forme aiguë), encéphalite (forme chronique), altération sanguine
Russie	<u>Ustilago hordei</u>	Bovins	Toxicose, comme ci-dessus
Russie	<u>Tilletia laevis</u>	Souris Rat	Toxicité et mort Pas d'effet
	<u>Ustilago hordei</u>	Rat	Pas d'effet

^{1/} Martin, P.M.D., et Gilman, G.A. (1976). A consideration of the mycotoxin hypothesis with special reference to the mycoflora of maize, sorghum, wheat and groundnuts. Tropical Products Institute, Londres.

Annexe 3

Mémento du traitement des piles de sacs en magasin en vue de les protéger contre les dommages provoqués par les insectes, les moisissures et les rongeurs

Un bon emmagasinage des produits en entrepôt appelle deux sortes de mesures visant à :

- (a) éliminer une infestation installée ou amorcée; et
- (b) prévenir une réinfestation d'origine externe.

Pour cela, il faut adopter des mesures à la fois curatives et prophylactiques assurant l'entreposage des produits dans des conditions de salubrité. Les mesures curatives (fumigations ou désinfestation par la chaleur) ainsi que les traitements de protection interviennent dans l'entrepôt même. Le code d'usages pour une manipulation en conditions de sécurité est le suivant:

- (1) Les sacs doivent être empilés sur des fardages étanches à l'humidité et à l'épreuve des insectes, des passages et un espace suffisants étant ménagés entre les piles de sacs et les parois d'une part, et entre les piles elle-mêmes d'autre part.

Les piles de sacs doivent répondre à des critères de stabilité, d'utilisation optimale de l'espace et de capacité de charge de la première couche.

Avant la constitution des piles, les fardages doivent être traités avec une formule pesticide appropriée (à base de lindane ou de malathion, par exemple) en suspension dans de l'huile à forte viscosité. Les doses d'application agréées pour la plupart de ces insecticides se traduiront par l'utilisation de 150 mg d'ingrédients actifs par mètre carré de superficie. Ce traitement peut exercer un effet létal sur les insectes rampants et les acariens et prévenir les attaques de termites à partir du sol.

Les rongeurs polluent les produits entreposés de leurs excréments et de leurs poils. De nombreuses espèces de micro-organismes nuisibles sont portées et répandues par les insectes et les rongeurs.

- (2) Les mesures de lutte contre les rongeurs comprennent l'élimination des lieux propices aux rongeurs, la mise en place d'obstacles contre les rongeurs, l'assainissement des locaux, l'utilisation prudente de poudres de piste rodenticides, de pièges, l'application d'appâts empoisonnés dans des récipients et la fumigation des trous de rats dans des conditions de sécurité.

Les habitudes fouisseuses de nombreux rongeurs, tels que Bandicota, Tatera et Milardia, sont bien connues. Rattus rattus et Mus musculus nichent dans l'enceinte des structures d'entreposage et pour lutter contre ces rongeurs il faut employer des appâts empoisonnés qui les attirent et des pièges efficaces. Des souris peuvent accomplir tout un cycle biologique sans quitter la même pile de sacs, ce qui les rend difficiles à combattre. Les structures d'entreposage elles-mêmes pourraient être mieux protégées contre les rongeurs par un soubassement de conception appropriée. L'entrepôt sera mieux à l'abri des rongeurs si l'on construit une rampe fonctionnelle un peu à l'écart du bâtiment principal. Il est toujours facile de combler cet écart, le moment venu, en posant une planche. Les parois du bâtiment doivent être lisses, le plancher étanche à l'humidité; les portes et fenêtres doivent pouvoir être rendues imperméables aux gaz, et la toiture convenir aux fumigations.

- (3) Des produits risquent de se dégrader en cours de transport et de distribution quand, en magasin, ils sont exposés à une réinfestation par des insectes hôtes des produits entreposés et par les rongeurs.

Aucun des matériaux d'emballage du type sacs en jute ou en coton, récipients à parois minces plastifiées, sacs en papier ordinaire et multicouches ne semble satisfaire à toutes les exigences d'un transport et d'une distribution en bonnes conditions de sécurité. Tous sont susceptibles d'être détruits par les attaques des moisissures, des rongeurs ou des insectes. Un traitement chimique approprié, apte à accroître la

l'attaque des insectes est souvent, nécessaire. Comme le malathion et certains autres pesticides peuvent être stabilisés dans des huiles appropriées et que ces formules ne posent pas de problème quant à leur transfert de la surface traitée aux produits contenus dans les sacs, il est facile d'améliorer la résistance aux insectes des surfaces extérieures de la pile en pratiquant une pulvérisation préventive.

On a conçu une machine pour le traitement à grande échelle des sacs vides. Une émulsion pour pulvérisations contenant du lindane par exemple est diluée dans l'eau et nébulisée sur les sacs. Avec cette machine, un ouvrier qualifié peut traiter environ 2 500 à 3 000 sacs en 8 heures. Le séchage est très rapide, car l'humidité absorbée par les sacs immédiatement après pulvérisation ne dépasse pas 2 à 3 pour cent. On a déterminé que le coût de ce traitement, pour des sacs de jute, était, il y a quelques années, de l'ordre de 0,25 roupie indienne (soit 0,03 dollar E.-U.). Le transfert ou la migration de résidus sur les céréales entreposées dans ces sacs ne dépasse pas les seuils de tolérance habituels.

Dans la plupart des cas, un traitement insecticide des sacs contenant des produits alimentaires est indispensable pendant le stockage en entrepôt. On y procède en général avec des formules insecticides émulsifiables dans l'eau ou des poudres délayables. Pulvériser l'intérieur d'un entrepôt occupé avec une formule dispersable dans l'eau, lorsque l'hygrométrie est déjà très élevée, risque d'accroître l'humidité et la croissance fongique. Le poufrage avec des formules pesticides laissant des résidus peut aussi s'avérer difficile à réaliser sans augmenter le risque de contamination des aliments.

On a mis au point, pour les piles de produits emballés, la méthode suivante de pulvérisation prophylactique in situ avec une formule huileuse, en combinaison avec une fumigation:

Un mélange d'huile d'arachide, d'huile minérale à haute viscosité et d'huile de mélange accroît, paraît-il, considérablement la toxicité de certains insecticides, ainsi que leur stabilité sur les surfaces traitées. Il est possible d'éviter la réinfestation par un choix judicieux des solvants, des substances synergétiques et des pesticides, par une application correcte des formules sur les surfaces extérieures des piles.

Il faut tenir compte de la texture des toiles à sacs avant de pulvériser directement sur les piles de sacs, car les gouttelettes de produit insecticide ne doivent pas s'infiltrer trop facilement à travers les sacs. On peut procéder à des pulvérisations directes sur les sacs du type croisé A, croisé B et DW, lorsqu'ils sont remplis. Les sacs à texture plus lâche doivent être protégés en recouvrant la pile d'une toile imprégnée d'un produit chimique, lindane et malathion par exemple en suspension dans de l'huile à haute viscosité. La mousseline légère non blanchie, traitée ou non, serait une bonne couverture de protection.

- (4) L'absorption d'humidité pendant l'entreposage dans les conditions de l'atmosphère peut poser certains problèmes. Les arachides, le café et le riz stockés dans les régions côtières, ou ailleurs pendant la saison des pluies, peuvent être fumigés avec des mélanges de bromure de méthyle ou d'ammoniac phosphine (1/1,6), puis protégés par pressurisation, technique qui prévient l'absorption d'humidité atmosphérique et évite la réinfestation de la pile par des insectes. La pressurisation s'est révélée

extrêmement utile dans les conditions d'entreposage existantes en zones côtières ou humides pour d'autres raisons. Elle permet d'éviter les gros investissements requis par la construction d'entrepôts coûteux, avec contrôle de l'humidité des silos et élévateurs. Il faut toutefois veiller à ce qu'il ne se produise pas de condensation et phénomènes localisés d'humidité qui en résultent.

Cette méthode de fumigation a été utilisée avec succès pour les arachides fraîchement récoltées en Inde, alors que les conditions météorologiques n'avaient pas permis un séchage approprié. Des gousses d'arachide fraîches contenant moins de 35 pour cent d'humidité ont été enfermées entre deux feuilles de polyéthylène (0,06 mm) et, après avoir mesuré le volume du tas, on a placé sous l'enveloppe, en différents points, les quantités voulues de mélanges réactifs ou de fumigants (cf. Figure 10). La durée d'exposition a varié entre 36 et 72 heures suivant les conditions climatiques. La production in situ du fumigant à l'intérieur de l'enveloppe de polyéthylène a stérilisé partiellement les gousses qui ont été ensuite séchées au soleil. Le(s) masque(s) à gaz muni(s) du (des) bidon(s) approprié(s) doit (doivent) être utilisé(s) conformément aux instructions, pendant ce genre de fumigation.

Il convient d'attirer l'attention sur le fait que la phosphine est très toxique pour l'homme et que le niveau maximum toléré dans l'atmosphère est de l'ordre de 0,05 ppm. Il ne faut donc pas employer cette méthode dans un bâtiment clos sans avoir pris les précautions qui s'imposent; un hangar convenablement ventilé peut convenir. Pendant l'aération, la désorption de la phosphine est relativement rapide, alors que l'ammoniac se dissipe plus lentement. Les traces d'ammoniac disparaissent généralement pendant le séchage. Toutefois, il ne présente aucun danger de toxicité connu pour les consommateurs lorsqu'il est présent sur les gousses d'arachides. Pour plus d'informations sur la fumigation, consulter le No. 79 des Etudes agricoles de la FAO, intitulé "La fumigation en tant que traitement insecticide" - 1970, 398 pages.



Figure 10: Fumigation des gousses d'arachides humides sous feuilles de polyéthylène.

Annexe 4

Influence de la teneur en humidité sur le développement des moisissures pendant l'entreposage des céréales, à différentes températures et humidités relatives.

Produit	Gamme de températures °C	Humidité relative				
		30%	50%	70%	80%	90%
Teneur en humidité (rapport de matière humide)						
Riz poli	28-31	9.0	10.6	12.6	16.0*	23.0*
	10-11	9.9	11.0	12.4	13.2	22.5
Riz étuvé	28-31	9.2	10.9	13.6	15.1	22.8*
	10-11	8.3	11.3	13.9	14.5	20.5*
Blé	28-31	8.6	10.5	13.2	18.0*	20.4*
	10-11	8.4	11.0	13.2	14.1	23.0*
Sorgho	28-31	8.9	11.0	13.6	17.5*	21.6*
	10-11	8.3	10.7	13.5	14.2	22.1*
Haricot velu de Basse Nubie	28-31	5.1	9.6	14.0	22.7*	26.8*
	10-11	6.6	10.1	11.2	16.4*	25.0*
Pois chiche vert	28-31	6.2	9.3	11.8	14.7*	26.3*
	10-11	7.5	9.2	11.0	13.9	31.6*
Pois chiche	28-31	6.6	9.1	11.6	16.6*	25.3*
	10-11	7.0	9.3	10.7	14.0	26.0
Graines d'arachide	28-31	3.0	4.8	6.6	10.3*	18.0*
	10-11	3.7	4.2	5.9	8.4	16.8*
Cumin	28-31	9.9	11.6	14.0	22.0*	30.0*
	10-11	6.8	7.0	9.2	21.8*	28.0*
Coriandre	28-31	9.7	11.4	16.9	24.5*	30.0*
	10-11	7.2	8.3	10.2	22.0*	29.6*
Grains de café	28-31	5.5	7.6	9.0	14.5	20.0*
	10-11	6.0	7.2	8.8	14.0	18.2*

(*) Moisissures visibles.

D'après Majumder et al., 1965 dans "Mycotoxins in Foodstuffs" éd. C.H. Hogan, MIT Press, Cambridge, Mass., Etats-Unis d'Amérique.

Evaluation de la teneur en aflatoxines de certains aliments pour animaux et niveaux maximums tolérables d'admixtion de composants contenant des aflatoxines dans les mélanges alimentaires pour animaux - 1969, Recommandations* préparées pour la République fédérale d'Allemagne (Institut de recherche expérimentale agricole, Kiel, R.F.A.: cité d'après "Informationsdienst Futter Und Fütterung", 1969)

Teneur en aflatoxines*	Type d'aliment	Admixtion de composants contenant des aflatoxines dans les aliments pour le bétail	Teneur maximum totale d'aflatoxines par kilogramme d'aliment composé
Légèrement positive (jusqu'à 0,1 mg/kg)	Aliments pour canards Aliments de démarrage pour dindes Aliments pour poulets Aliments d'élevage pour porcs Aliments d'élevage pour agneaux Aliments pour veaux Aliments de finissage pour dindes Aliments de finissage pour poulets à rôtir Aliments pour porcs Aliments pour poudeuses Aliments de finissage pour bovins Aliments pour vaches laitières Aliments pour moutons	néant néant néant néant néant néant max 5 % max 5 % max 7,5 % max 7,5 % max 7,5 % max 15 % max 15 %	0 0 0 0 0 0 (0,005 mg) (0,005 mg) (0,0075 mg) (0,0075 mg) (0,0075 mg) (0,015 mg)
Modérément à fortement positif (0,1 à 1,0 mg/kg)	Aliments de finissage pour dindes Aliments de finissage pour poulets à rôtir Aliments pour porcs Aliments pour poudeuses Aliments de finissage pour bovins Aliments pour vaches laitières Aliments pour moutons	max 2,5 % max 2,5 % max 3,75 % max 3,75 % max 3,75 % max 7,5 % max 7,5 %	0,025 mg 0,025 mg 0,038 mg 0,038 mg 0,038 mg 0,075 mg 0,075 mg
Très fortement positive (1,0 à 2,0 mg/kg)	Aliments pour vaches laitières Aliments pour moutons	max 2,5 % max 2,5 %	(0,05 mg) (0,05 mg)
Plus de 2,0 mg/kg	Inutilisable en tant qu'ingrédients des aliments pour animaux		

* Note de l'éditeur: Ces dernières années, on a d'une manière générale pris l'habitude d'exprimer la teneur en aflatoxines en microgrammes par kilogramme (1 mg/kg = 1000 microgrammes/kilogramme) et les teneurs dépassant 15 à 25 microgrammes par kilogramme ne sont plus considérées comme "légèrement positives". Ces recommandations, basées sur des études scientifiques sur les animaux, et tenant compte uniquement des aspects santé et productivité, sont citées à titre d'exemple. Cela n'implique pas qu'elles sont actuellement observées en République fédérale d'Allemagne, ou ailleurs.

Annexe 7

Liste de quelques institutions travaillant sur les mycotoxines

On trouvera ci-après une liste succincte de quelques-uns des instituts dont on sait qu'ils s'occupent activement de divers aspects des mycotoxines. Les autres institutions travaillant dans ce domaine sont invitées à exposer brièvement leurs activités en matière de mycotoxicologie. Ces renseignements seront éventuellement inclus dans des versions révisées de la présente publication ou, le cas échéant, dans d'autres documents. S'adresser au : Groupe de la science alimentaire, du contrôle des aliments et de la protection du consommateur, Service de la science et des normes alimentaires, Division des politiques alimentaires et de la nutrition, FAO, 00100, Rome, Italie.

Brésil

1. Universidade de Sao Paulo
Depto. de Tecnologia Rural
E.S.A. Luiz de Queiroz
13.400-Piracicaba, S.P.

- a) Aflatoxines
- b) Ochratoxines

2. Instituto Adolfo Lutz
Av. Dr. Arnaldo
Sao Paulo. S.P.

- a) Aflatoxines
- b) Ochratoxines

Canada

Health and Welfare Canada

1. Health Protection Branch
Ottawa, Ont. K1A

- a) Analyse des mycotoxines
- b) Toxicologie des toxines de Pénicillium

2. Health of Animals Branch
Animal Pathology Division
115 Veterinary Road
Saskatoon, Sask. S7N 2R3

- a) Analyse des mycotoxines
- b) Toxicologie des mycotoxines

Danemark

Institut d'hygiène et de microbiologie
Université royale vétérinaire et agricole
Copenhague

- a) Pathologie des mycotoxines

République
fédérale
d'Allemagne

1. Centre fédéral de recherche sur les viandes
Oscar-von-Miller Strasse 20
8650 Kulmbach
 - a) Toxines de Pénicillium
 - b) Toxines de Fusarium

2. Bureau fédéral de la santé
Institut Max von Pettenkofer
Thielallee 88/92
D1000 Berlin 33
 - a) Analyse des mycotoxines
 - b) Toxicologie des mycotoxines

France

Institut national de la recherche agronomique
Service des mycotoxines
16 rue Nicolas Fortin
75014 Paris

- a) Analyse des mycotoxines

Inde

1. National Institute of nutrition
Hyderabad, A.P.
 - a) Toxicologie des mycotoxines
 - b) Enquêtes épidémiologiques
 - c) Variétés de semences résistantes

2. Vallabh Bai Patel Chest Institute
New Delhi
 - a) Biosynthèse des aflatoxines

3. Institut central de recherches
technologiques alimentaires
Mysore
 - a) Analyse, prévention, contrôle et détoxification
 - b) Isolation, caractérisation et métabolisme des
champignons
 - c) Toxicologie
 - d) Etudes épidémiologiques
 - e) Lutte contre les infestations par les insectes

4. The Overseas Merchandise Inspection Co.
Dr. A. B. Road
Worley
Bombay-25
 - a) Analyse des aflatoxines

Israël

Université hébraïque
Département de botanique
Laboratoire de mycologie et mycotoxicologie
Jérusalem

a) Toxicologie des mycotoxines

Japon

1. Institut de médecine
Université de Tokyo
Takanawa
Tokyo

a) Toxines de Pénicillium

2. Institut de recherches alimentaires
Ministère de l'agriculture et des forêts
Tokyo

a) Champignons toxigènes des aliments entreposés

Pays-Bas

Institut national de la santé publique
Boîte postale 1, Bilthoven

a) Aspects microbiologiques des mycotoxines

b) Analyse

c) Toxicologie

Toxines: aflatoxines, ochratoxine A, patuline,
acide pénicillique, stérigmatocystine,
citrinine

Sri Lanka

University of Sri Lanka
Department of Bacteriology
Peradeniya

a) Analyse

b) Détoxification des aflatoxines

Royaume-Uni

1. Imperial Chemical Industries Ltd.
Central Toxicology Laboratory
Alderley Park, Cheshire

a) Toxicologie des mycotoxines

2. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food
Food Science Division
Great Westminster House
Horseferry Road, London, SW1P 2AE

a) Travaux de surveillance

Royaume-Uni
(Suite)

3. Tropical Products Institute
56/62 Gray's Inn Road
London, WC1X 8LU
 - a) Analyse des mycotoxines
 - b) Protection des produits entreposés

Etats-Unis
d'Amérique

United States Department of Agriculture, Science
and Education Administration

1. Agricultural Experiment Station
North Carolina State University
P.O. Box 5906
Raleigh, NC 27607
 - a) Contrôle des mycotoxines
 - b) Analyse des aflatoxines
 - c) Vulgarisation auprès des cultivateurs
2. Southern Regional Research Center
P.O. Box 19687
New Orleans, LA 70179
 - a) Analyse
 - b) Détoxification et lutte
3. Northern Regional Research Center
Peoria, IL 61604
 - a) Aspects microbiologiques et entomologiques des mycotoxines
 - b) Contrôle des aflatoxines
 - c) Détoxification des aflatoxines
 - d) Analyse
4. Agricultural Experiment Station
P.O. Drawer ED
College Station, TX 77840
 - a) Aspects microbiologiques des mycotoxines
5. University of Minnesota
Department of Plant Pathology
Minneapolis, Minn.
 - a) Toxines de Fusarium
 - b) Microbiologie des céréales
6. Massachusetts Institute of Technology
Department of Nutrition and Food Science
Cambridge, Mass.
 - a) Toxicologie des mycotoxines

Etats-Unis
d'Amérique
(Suite)

7. Auburn University and Agricultural
Experiment Station
Botany and Plant Pathology Department
Auburn, AL 36830

a) Aspects microbiologiques des mycotoxines

8. United States Department of Health,
Education and Welfare
Food and Drug Administration
(various Divisions, viz. Chemistry
and Physics, Toxicology)
200 C Street, SW
Washington, DC 20204

a) Analyse
b) Toxicologie
c) Mycologie

