

## Tendances actuelles des recherches sur la protection des denrées stockées sur le plan mondial

Francis Fleurat-Lessard

L'ensemble des chercheurs, scientifiques et ingénieurs, dont les travaux concernent la préservation de la qualité des denrées après la récolte, se réunit tous les quatre ans en une « Conférence internationale » de travail pour présenter les recherches réalisées, les résultats obtenus et les nouvelles tendances de la recherche dans ces domaines où les intérêts économiques sont importants à l'échelle planétaire.

Au cours de la période qui a séparé la conférence de Tel-Aviv (1986) de celle de Bordeaux (1990), une nouvelle tendance est apparue qui a modifié de façon importante, et certainement irréversible, la direction des recherches en cours.

Une nette influence de la demande des industries agro-alimentaires de transformation et des consommateurs a vu le jour. Elle s'est concrétisée par des exigences accrues pour améliorer la qualité sanitaire des matières premières et pour maîtriser totalement la sécurité des aliments dérivés, destinés à l'alimentation humaine. Ces nouvelles contraintes incitent à une utilisation de plus en plus raisonnée de la protection chimique.

En parallèle, l'idée reçue sur le déséquilibre nord-sud dans l'économie agro-alimentaire et la dépendance des

pays en développement vis-à-vis des recherches des pays développés pourrait parfois faire oublier que ces pays du tiers monde participent également à la recherche, avec des objectifs souvent pragmatiques, mais réalistes par rapport à leurs préoccupations à court terme. L'importance des recherches des pays moins développés dans le secteur de la conservation des denrées en climat chaud n'est pas négligeable et mérite d'être discutée, notamment dans les programmes de coopération avec les organismes de soutien logistique issus des pays développés.

La problématique de la préservation de la qualité des denrées entreposées peut être subdivisée en une douzaine de thèmes de recherche autour desquels la présente revue est organisée.

### Biologie et physiologie des insectes et des acariens des stocks de denrées

Les études actuelles sur la communication olfactive et l'écologie chimique (médiators chimiques, odeurs alimentaires) sont orientées en priorité vers la découverte de nouvelles phéromones de coléoptères. De même, les relations insectes-microorganismes des stocks sont de plus en plus étudiées. Certains chercheurs intègrent l'ensemble des

interactions dans des modèles d'analyse multivariées pour faire apparaître les relations les plus significatives entre les facteurs physiques du milieu et les variables biotiques.

L'analyse des mécanismes d'adaptation des ravageurs à un type de graine (co-évolution bruches-légumineuses par exemple) est indispensable pour comprendre les conditions de cette adaptation et pour trouver ensuite les moyens de la contrôler.

Des critères de différenciation biochimique des espèces, par exemple à partir de marqueurs protéiques révélés par électrophorèse, permettent de caractériser les variations géographiques ou trophiques à l'intérieur d'une même espèce ou encore la « proximité biochimique » de différentes espèces au sein d'un même genre. Ceci est important dans les cas de souches ayant des aptitudes particulières, comme la résistance aux substances antinutritionnelles contenues dans les grains et les graines. Ainsi, l'analyse des effets de facteurs nutritionnels (équilibres entre nutriments) et anti-nutritionnels (toxicologie) sur la reproduction ou le développement de l'insecte permet d'aborder la variabilité de l'adaptation physiologique sur le plan nutritionnel ainsi que les mécanismes de détoxification.

La sensibilité variétale des céréales ou des légumineuses aux attaques d'insectes, exprimée sous forme de corrélations avec l'analyse biochimique ou avec la teneur en substances allélochimiques, est à la base de programmes futurs d'amélioration génétique des plantes. Force est de constater, cepen-

F. Fleurat-Lessard : INRA, Centre de recherches de Bordeaux, Laboratoire des insectes des denrées, B.P. 81, 33883 Villenave-d'Ornon Cedex, France.



dant, que ces programmes très prometteurs, lancés voilà quelques années, tardent à produire leurs fruits en raison de difficultés d'approche méthodologique (structures et régulations géniques insuffisamment clarifiées notamment).

## Stocks à humidité critique

### Problèmes liés à la microflore fongique en conditions limites

Pour les recherches portant sur l'isolement, l'identification et l'évaluation de la toxicité des mycotoxines, des méthodes nouvelles d'analyse, issues de l'immuno-chimie, sont proposées pour améliorer fiabilité et précision dans les méthodes rapides (test ELISA pour les aflatoxines par exemple), tout en abaissant les coûts.

La détermination des conditions de développement et de toxinogénèse de

la flore fongique occupe encore beaucoup les chercheurs.

Des techniques nouvelles de détermination globale de la « biomasse fongique » (dosage de l'ergostérol) ont été mises au point simultanément dans plusieurs pays (figure 1 [1]).

L'actualité du sujet est illustrée par l'effort fourni pour abaisser le seuil de détection de la présence de toxines (en particulier celles des espèces du genre *Fusarium*) et pour améliorer la sélectivité des tests rapides actuels. On notera aussi les recherches de procédés permettant de modifier les conditions de stockage pour se placer en dehors des conditions de risque, tout en préservant le plus large domaine d'utilisation possible.

Les efforts portent actuellement sur la « microbiologie des grains stockés et des produits dérivés ». Il est question de l'application des atmosphères modifiées à la préservation des grains et, notamment, de leur efficacité dans la limitation de la croissance fongique et bactérienne et de la toxinogénèse. Les équipes les plus avancées sur le sujet

sont danoises, anglaises et françaises. Les relations entre l'analyse taxonomique et les risques de toxinogénèse de certaines espèces, qu'il est indispensable de préciser, font l'objet d'études approfondies, en particulier au Royaume-Uni et au Danemark.

Les effets de l'anoxie, pour limiter le développement de germes fongiques en stockage hermétique, se confirment progressivement sur le plan éco-physiologique. Les études sur l'efficacité de la protection offerte par l'incorporation d'acides organiques dans les grains humides paraissent déjà appartenir au passé. L'ionisation reste également peu utilisée, car l'absence de rémanence est considérée comme un obstacle à la valorisation de ce procédé, pourtant efficace pour la stérilisation. L'analyse des relations entre champignons microscopiques, éventuellement parasites ou allergènes pour l'homme, et les maladies professionnelles touchant à la sécurité du personnel dans les installations de stockage en est à ses débuts et représente une voie de recherche importante pour l'avenir.

## Les nouveaux défis

### La lutte chimique contre les ravageurs des denrées entreposées

L'apparition, dans de très nombreux pays, de populations d'insectes résistants aux insecticides, associée à la multiplication des contraintes légales relatives aux règles d'utilisation des pesticides et aux nouvelles homologations, rétrécit sensiblement le domaine de la lutte chimique.

Le manque de matières actives nouvelles, à mode d'action différent des insecticides en usage (notamment les fumigants), rend urgente la recherche de composés de remplacement des substances déjà retirées du marché ou sur le point d'être interdites.

La complexité des situations de stockage dans lesquelles la lutte doit s'exercer (produits différents, structures de types divers, mélange de produits, intérêt des consommateurs, législations variables d'un pays à l'autre, etc.) pousse vers une réduction des applications non raisonnées. On élabore des codes de bonnes pratiques qui

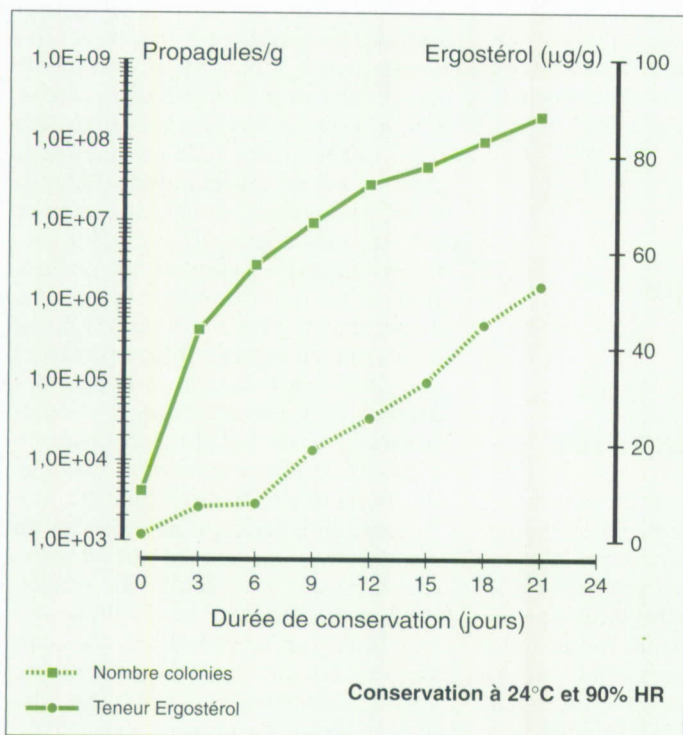


Figure 1. Correspondance entre l'analyse microbiologique normalisée (nombre de propagules) et un indicateur biochimique rapide de la biomasse fongique produite (ergostérol). Évolution observée au cours de la conservation du maïs à humidité critique [1].

Figure 1. Relation between standardized microbiological analysis (colony forming units) and a biochemical indicator of fungal biomass (ergosterol). Modifications of the two criteria observed during the storage of wet maize.



## Summary

### Current trends in research into stored-product protection worldwide

F. Fleurat-Lessard

*The majority of studies are those in applied research on the various technologies involved in the conservation and protection of stored products, mainly grain. To counterbalance this, basic research is carried out on insect population biology, the physiology of insects and mites, rodent behaviour, insect-trapping methods, and the theory of sampling and modelling in grain-protection management.*

*There are three important aspects :*

— *the detection of and regulations concerning insecticide residues in grain, and, in a broader sense, xenobiotics in general found in food products ;*

— *the preservation of foodstuff quality when stored under modified atmosphere ; this particularly concerns the microbiological aspects of airtight grain storage ;*

— *monitoring quality deterioration due to biological causes through early risk warning and detection systems.*

*Limitations in chemical control, including fumigants such as CH<sub>3</sub>Br, of grain-storage pests is a recent phenomenon to be taken into account in research programmes. This is due to three reasons :*

— *the reduction, in some industrialized countries, of the residues' « Threshold Limit Values » ;*

— *the improved quality and precision of modern technology in analysing xenobiotic substances (mycotoxins and insecticide residues) ;*

— *the increasing consumer concern about the use of pesticides in food preservation (i.e. the new « safe food » concept).*

*Questions such as insect-resistant packaging materials or health and hygiene are now integrated into strategies of quality control and assurance in the food storage and processing chain.*

*In the future, expert systems will certainly take off in areas such as bulk-grain protection management and the storage of food and grain-derived foodstuffs. For now, however, more work is needed before such systems can play their part in grain-storage monitoring practises.*

*Cahiers Agricultures 1993 ; 2 : 103-10.*

préfigurent l'apparition de systèmes d'« assurance qualité » pour décider de l'utilisation ou non des produits de protection dans une situation donnée, en se fondant sur la dose résiduelle de matière active.

Les formulations évoluent, en particulier pour optimiser les mélanges binaires ou ternaires de produits à modes d'action ou à spectres d'efficacité spécifiques complémentaires. Les mélanges binaires d'insecticides sont largement utilisés et très bien maîtrisés au niveau de l'application, notamment en France.

De très sérieux espoirs reposent sur de

nouvelles molécules comme les régulateurs de croissance d'insectes, les analogues d'hormones juvéniles, les précoènes ou composés chimiques à effet juvénilisant (par exemple, le fenoxycarbe). D'une manière générale, ces bio-régulateurs respectent la faune auxiliaire sans être réellement toxiques pour l'homme. Cependant, des substances à large spectre et très persistantes, comme le fenoxycarbe, posent déjà des problèmes secondaires de pullulations d'acariens dans les denrées stockées et traitées avec cette matière active contre les insectes.

La détection des résidus d'insecticides

dans le grain et les mesures législatives de protection du consommateur sont sous l'influence du système d'établissement des règles de tolérance des teneurs maximales admissibles de résidus d'insecticide, piloté par le *codex alimentarius* (FAO/OMS). Des problèmes dus à la présence de résidus dans les denrées alimentaires se posent actuellement au niveau des échanges internationaux. La liste des denrées pour lesquelles il a été fixé une limite maximum tolérable de résidus est souvent restreinte par rapport aux usages homologués dans chaque pays, ou inversement. L'autre inconnue principale, qu'il convient de maîtriser, concerne la toxicité réelle des substances d'origine végétale qui, selon les experts, doivent être soumises aux mêmes règles d'homologation que les produits de synthèse pour obtenir l'autorisation d'emploi. La recherche appliquée dans ce domaine est actuellement encouragée.

## Fumigation et atmosphères contrôlées

### Méthodes de lutte ou sauvetage *in extremis* de situations graves d'infestation ?

Deux méthodes de traitement s'opposent dans leur principe :

— les gaz fumigants directement insecticides à très faible dose (PH<sub>3</sub> et CH<sub>3</sub>Br) ;

— les atmosphères modifiées par des gaz « inertes » (N<sub>2</sub> ou CO<sub>2</sub> et mélanges oxygénés) en remplacement de l'air dans les cellules de stockage.

La recherche actuelle concernant ces procédés consiste en études de leurs effets sur l'insecte, déjà bien connus pour les fumigants (cibles dans la chaîne respiratoire, mitochondries, cytochromes). On cherche à améliorer l'étanchéité des structures de gazage (ex. : les enceintes portables et réchauffables) de manière à diminuer les doses en augmentant le temps de séjour des produits sous gaz (diminution du risque d'utilisation). Des moyens de pilotage automatique par micro-ordinateur des concentrations de



gaz pendant la fumigation sont actuellement au point dans certains pays (Australie, France, Royaume-Uni).

L'avenir des atmosphères modifiées par l'introduction de CO<sub>2</sub> dans les enceintes est prometteur : des utilisations en cellules métalliques étanches ont donné de très bons résultats dans divers pays, et pourraient être employées pour protéger les produits à haute valeur nutritionnelle ou les produits de l'agriculture biologique (compte tenu de coûts encore élevés de mise en œuvre).

L'utilisation de CO<sub>2</sub> sous forte pression a été simultanément étudiée en Allemagne et en France et ce procédé pourrait remplacer les fumigations à l'oxyde d'éthylène, aujourd'hui interdites, pour la désinsectisation rapide des épices et des plantes aromatiques. L'amélioration de la vitesse de pénétration de la phosphine dans les masses de grains et l'observation de la synergie PH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> vis-à-vis de la toxicité pour l'insecte, plaident en faveur des associations de cette nature pour optimiser la fumigation des stocks de grande hauteur (cales de navires, cellules verticales).

La production d'atmosphères inertes par des fermentations biologiques de déchets végétaux (étudiées en Chine et en Israël) permettrait une utilisation des atmosphères modifiées à faible coût dans les pays en développement. Des adaptations de la technologie des fermenteurs sont à étudier pour cet usage. On observe certaines avancées technologiques en matière d'atmosphères modifiées. Différents systèmes de production sont mis au point :

— à partir de mélanges gazeux préparés ailleurs que sur le site de stockage et acheminés en conteneurs sous pression ;

— à partir de générateurs directement sur le site (générateurs d'azote, brûleur à gaz, biogénération de gaz inertes). Les avantages respectifs des différentes compositions gazeuses obtenues dépendent de variables économiques spécifiques à chaque pays et du niveau d'incitation économique. La préservation « sans insecticide » des grains et des produits dérivés peut être obtenue avec les atmosphères contrôlées. Cet avantage devrait inciter les chercheurs à approfondir leurs travaux pour que ces technologies bénéficient rapidement de plus larges applications.

## Résistance des insectes aux insecticides

### Devenir vigilant

Certains chercheurs parlent d'une « nouvelle façon de vivre avec des souches résistantes d'insectes aux insecticides ». Ceci suppose une meilleure compréhension des mécanismes de résistance et la comparaison des aptitudes biologiques des souches résistantes en milieu toxique et en milieu non toxique. En particulier, les répercussions de la résistance sur la sensibilité à d'autres procédés de lutte, différents de la lutte chimique, sont progressivement précisées. La génétique des populations s'oriente vers la mise au point de sondes nucléotidiques permettant le repérage de gènes de résistance dans les populations naturelles.

La durée d'utilisation d'une substance active, avant qu'il n'apparaisse de résistance, est une préoccupation majeure des firmes. La déterminer est complexe et coûteux, puisqu'il faut recueillir, puis entretenir, de larges collections de races géographiques de ravageurs (sous-espèces) et étudier leur potentiel de résistance selon des protocoles normalisés (FAO) particulièrement lourds à réaliser.

Des études théoriques sur les moyens de retarder l'apparition de la résistance sont également en cours pour élaborer une stratégie de prévention. La France est remarquablement absente de la mise en œuvre des applications concernant la protection contre l'apparition de races résistantes d'insectes des denrées.

## Lutte par contrôle des paramètres physico-chimiques

### Solutions adaptées à la préservation des denrées transformées

La conservation par le froid et la désinsectisation curative par congélation reposent sur l'étude des mécanismes

physiologiques de résistance au froid. Des différences significatives ont été mises en évidence entre des souches d'insectes de laboratoire provenant de pays géographiquement éloignés les uns des autres.

De même, les effets de stress thermique — direct ou par exposition aux champs électriques des micro-ondes ou des hautes fréquences — sont approfondis, en France en particulier.

Dans le domaine de l'ionisation des denrées, les mécanismes d'altération des fonctions métaboliques de l'insecte après irradiation sont bien précisés.

Des études de plus en plus complètes sur les emballages et leur résistance aux insectes en ambiance d'entrepôt multiproduits témoignent de la préoccupation des fabricants vis-à-vis des contaminations multiples des entrepôts de la grande distribution, y compris dans les pays industrialisés.

## Lutte biologique

### Applications limitées en situation de stockage des denrées alimentaires

Les microorganismes entomopathogènes actifs sur les insectes des denrées font actuellement l'objet de recherches intenses :

— spécifiques de certains types d'insectes, ils nécessitent nombre de connaissances préalables quant à la stabilité de leur pouvoir pathogène avant d'obtenir une première autorisation d'emploi ;

— chez les insectes entomophages, ou hyperparasites, le « comportement » de colonisation de la masse de denrées et de dispersion sont des paramètres très étudiés, ainsi que la persistance de l'auxiliaire après le lâcher dans l'environnement du stock, lequel est un milieu compact, difficile à prospecter. Des sérotypes de *Bacillus thuringiensis* (Bt), actifs sur les lépidoptères des denrées, sont utilisés aux États-Unis en particulier pour lutter contre les attaques sur fruits secs. Les mécanismes de tolérance de l'insecte à la toxine du Bt commencent à être étudiés aux USA sur *Plodia interpunctella* (Huebner). Le virus de la granulose de la chenille de cette même espèce a fait l'objet d'études prometteuses, préparant l'utilisa-



tion de préparations virales pour la lutte contre les chenilles d'autres espèces nuisibles de lépidoptères.

Les procédures d'exploitation pratique de parasites et de prédateurs pour la lutte contre les insectes nuisibles sont surtout évaluées pour lutter contre les fléaux importés : par exemple *Prostephanus truncatus* (Horn) en Afrique, contre lequel on étudie *Teretriosoma nigrescens* (Lewis), importé du Mexique, aire d'origine du ravageur.

## Surveillance, échantillonnage, détection précoce des insectes nuisibles

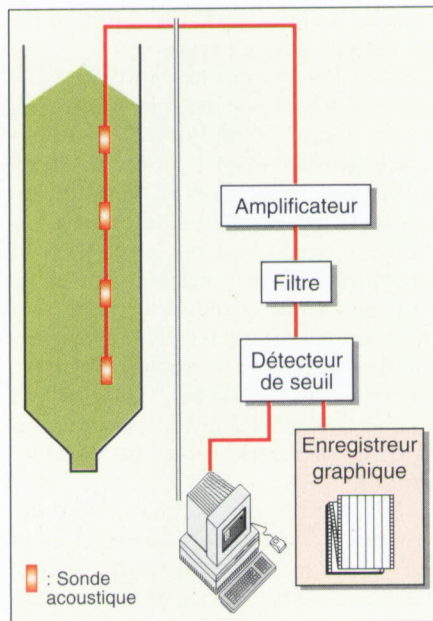
### Développement en pleine expansion

Les recommandations rigoureuses des organismes et agences chargés de la législation sur la qualité des grains et des denrées transformées impliquent une surveillance constante de l'évolution de la situation sanitaire, d'une part pour assurer une lutte raisonnée et, d'autre part, pour éviter que l'image de marque d'un produit soit ternie par la présence d'insectes à l'intérieur.

Des études récentes (France/Royaume-Uni) montrent la très médiocre représentativité des méthodes d'échantillonnage traditionnelles dans les cas de faible densité de l'élément recherché (grains colorés ou insectes morts). L'amélioration de ces méthodes (automatisation et précision) est à l'ordre du jour pour définir de meilleurs procédés d'échantillonnage permettant de suivre l'évolution de faibles populations d'insectes nuisibles dans les masses de grains stockées.

La détection acoustique intégrée aux cellules de stockage, développée en France et aux États-Unis, est un élément de base de la modélisation prédictive des évolutions quantitatives des populations ; elle devrait encore progresser (figure 2 [2]).

De nouvelles phéromones de coléoptères ont été découvertes. Elles devraient permettre d'améliorer encore le contrôle du comportement de ces insectes,



▲ **Figure 2.** Schéma d'une installation de détection acoustique intégrée en cellule de stockage destinée à surveiller l'apparition d'insectes nuisibles à très faible niveau de population. La silo-détection acoustique est opérationnelle en France [2].

**Figure 2.** Principle for the use of acoustic probes in the early detection of insect infestation inside grain bins to follow up noxious insects at very low population levels. « In bin » acoustical detection is already operational in France.

beaucoup plus difficile à maîtriser que celui des lépidoptères.

Dans le cas des stocks de grains, l'utilisation des « pots-pièges » semi-enterrés à la surface des grains a montré leur intérêt pour la détection précoce de coléoptères adultes. L'interaction entre le résultat des piégeages et le traitement insecticide des grains est étudiée activement pour construire une stratégie de lutte raisonnée combinant les divers moyens de protection disponibles. Le problème qui préoccupe le plus les chercheurs étudiant les populations d'insectes grâce au piégeage en continu, est la façon de concevoir les expériences et d'interpréter les résultats par rapport à une densité de référence connue et non pas théorique. Cela implique, de l'avis de plusieurs spécialistes, de conduire de nombreux essais en grandeur réelle, avec une connaissance préalable, de la densité de population, par un autre moyen que le piège. L'harmonisation des protocoles et des méthodes d'expérimentation en

la matière paraît urgente pour une meilleure exploitation des résultats.

D'autres études, menées sous forme d'« enquêtes épidémiologiques », montrent que les insectes nuisibles sont très répandus en milieu urbain, même en l'absence de zone particulière réservée au stockage des denrées. L'espèce la plus répandue est *Plodia interpunctella*. Cela confirme le grand pouvoir de dispersion des lépidoptères ravageurs des denrées. La combinaison de pièges à phéromone avec une aire d'« atterrissage » traitée par un insecticide de contact a été expérimentée en Italie (procédé « attracticide »). De même la maîtrise, délicate, de l'usage des pièges à coléoptères a suscité de nombreux travaux en relation avec l'introduction de pièges à phéromone dans les usines de transformation agro-alimentaire. Les pièges à phéromone pour les pyrales *Phycitinae* des denrées sont désormais d'usage courant dans les usines en Europe et représentent un élément essentiel d'avertissement précoce de la présence d'insectes, qui déclenche la lutte chimique. Dans un autre domaine, le piégeage de *Prostephanus truncatus*, le grand capucin du maïs, a été amélioré par de nouvelles formes de pièges à phéromone. De grandes firmes phytopharmaceutiques s'intéressent de près aux travaux sur le piégeage.

## Rongeurs

### Un fléau surtout en climat tropical et en milieu rural

Les recherches sur le comportement des rongeurs et la biologie des populations sont toujours actives :

- pour mettre au point les appâts (formulation la plus efficace, type de distribution, processus d'accoutumance, etc.) ;

- pour étudier les effets des mesures préventives (barrières).

De nouveaux systèmes de pièges ont vu le jour, tandis que des études connexes étaient menées sur les réactions des rongeurs face à ces systèmes.

Les recherches toxicologiques ainsi que celles portant sur la résistance aux anticoagulants et autres rodenticides se poursuivent, rendues indispensables pour assurer le renouvellement des matières actives, à la suite de la mani-



festation rapide des phénomènes de résistance.

## **Problèmes particuliers liés aux climats tropicaux**

Qu'elles soient menées par les pays en développement ou par les organismes de coopération des pays développés, les recherches portent sur l'importance des attaques d'insectes en relation avec le climat, l'espèce cultivée, la variété, reliées le plus souvent à l'estimation précise des pertes réelles.

Les problèmes de mycotoxines sur les céréales alimentaires sont particulièrement importants en Afrique tropicale humide et en Asie du Sud-Est où ils font l'objet d'investigations approfondies, notamment sur les conditions de formation des toxines (programme australien ACIAR).

La FAO préconise de poursuivre un effort de formation par la recherche dans ces domaines en accueillant, dans les laboratoires européens, des chercheurs ou des universitaires originaires des pays en développement afin d'assurer un transfert de méthodologies et de savoir-faire vers leur pays d'origine. Les programmes de recherche locaux sont orientés vers la caractérisation des propriétés des insecticides tirés des plantes, en utilisation directe (feuilles de « neem ») ou en extraits concentrés, plus ou moins purifiés par une technologie exploitable localement. Comme pour toutes les nouvelles matières actives, les aspects toxicologiques, l'efficacité, l'innocuité et les modalités d'emploi (stabilité) font l'objet de recherches appliquées approfondies, à la suite des recommandations strictes des organisations chargées de l'aide internationale (FAO-OMS). La création variétale de céréales ou de légumineuses résistantes aux insectes des stocks se fonde sur la sélection de facteurs antinutritionnels (lectines, anti-protéases, polyphénols) présents dans les grains et graines et faciles à éliminer avant leur consommation par cuisson à la vapeur ou autre procédé simple. La relation entre la résistance observée et sa base génétique n'est abordée que de façon très préliminaire. La biologie moléculaire devrait faire progresser beaucoup plus rapidement de telles recherches, en particulier avec la découverte facilitée de marqueurs

génétiques associés à certains facteurs de résistance aux ravageurs.

La lutte biologique, très étudiée sur le plan théorique, ne semble pas correspondre à une possibilité réelle d'application possible dans les pays en développement : elle nécessite, en effet, un niveau technologique élevé et un encadrement très compétent pour pouvoir être mise en œuvre valablement et les tentatives en la matière sont rares, sauf pour lutter contre les fléaux majeurs comme le grand capucin du maïs, *Prostephanus truncatus*, importé de fraîche date en Afrique, sans son cortège de prédateurs ou de parasites naturels.

L'amélioration des techniques et des structures de stockage (étanchéité) et son effet sur la dynamique spatio-temporelle des insectes nuisibles font partie des programmes nord-sud de transfert technologique (Australie, Israël).

## **Structures de stockage**

### **Moindre coût pour la même quantité logée et meilleure protection**

La diminution des coûts de construction avec les nouveaux silos-dômes ou les silos étanches à virole sertie (type « Lipp » par exemple), ainsi que la réduction du travail humain de maintenance (ventilation presse-bouton, automatismes, etc.), visent à la réduction du coût de stockage tout en assurant une protection maximale contre les altérations par des structures nouvelles pouvant être facilement rendues étanches, l'automatisation de l'application insecticide, ou la ventilation.

La sécurité de l'outil de stockage (silo) est étudiée activement (solidité des différents types de structure, contraintes dues aux mouvements du grain ou aux écarts thermiques, calculs des matériaux, logiciels de choix des solutions techniques, etc.) par les bureaux d'études privés. A partir de certains logiciels, on peut arriver à optimiser des systèmes de ventilation ou de refroidissement et à prédire les performances

d'un système de ventilation existant (Canada).

La technologie des silos étanches souterrains (Maroc) ou en surface (France, Australie) a été évaluée au cours de récentes enquêtes, y compris au niveau des contraintes d'exploitation et d'entretien de ces structures.

## **La transformation agro-alimentaire**

### **Les problèmes issus de l'amont de la filière**

Résidus d'insecticides du blé au pain, fragments d'insectes et déjections de la farine au biscuit, chutes d'insectes de l'entrepôt dans la chaîne de transformation, ces questions relèvent des règles sanitaires et du respect des normes en vigueur pour ces différentes pollutions.

La prévention, le dépistage des foyers d'infestation et la prophylaxie sont étroitement liés au progrès des techniques et des procédés associés. Cela suscite des recherches appliquées sur les analyses de contrôle sanitaire micro et microbiologique afin de garantir la qualité des procédés de fabrication au niveau industriel et d'élaborer le cahier des charges de l'assurance-qualité en matière d'hygiène et de contrôle sanitaire.

La protection contre les attaques de ravageurs, par matériaux d'emballage aux qualités spécifiques, est aujourd'hui le souci majeur des industries alimentaires. Des études méthodologiques s'appuyant sur des tests de caractérisation des propriétés des matériaux de conditionnement des denrées commencent à produire des résultats (normalisation de méthodes de test).

## **Économies et ajustement**

### **Les moyens de lutte dans la préservation des stocks alimentaires**

Les études de la valeur de l'échantillonnage traditionnel, pour détecter les insectes dans les stocks de grains stati-



ques, ainsi que celle de ses implications économiques ont été actualisées. Elles démontrent la médiocre fiabilité des procédures normalisées et la nécessité absolue d'utiliser des systèmes permettant une plus grande précision, nécessaire à la détection précoce, à la surveillance et au pilotage des très faibles niveaux de populations d'insectes. D'autres études portent sur les coûts de stockage en relation avec le type de structure et proposent de meilleures stratégies de surveillance et de pilotage pour minimiser les coûts de la préservation.

## Les systèmes-experts

### Véritables outils de gestion technique dans les silos du futur

« Un système-expert est un ensemble de logiciels où l'on a accumulé les connaissances, souvent empiriques, des spécialistes d'un domaine donné et qui utilise ces connaissances pour la résolution de problèmes nouveaux dans le même domaine. »

Le perfectionnement des systèmes-experts de gestion de la protection des stocks a déjà atteint un très haut niveau en Australie, au Canada, au Royaume-Uni et aux États-Unis.

Des modèles mathématiques ont, par exemple, été mis au point pour représenter finement le développement des populations d'insectes. L'objectif secondaire est la minimisation de la quantité de pesticide mis en œuvre (ajustement du nombre de traitements et des doses utilisées au problème décelé) ou la possibilité d'orienter les conditions physiques du stock pour se placer hors des conditions d'altération microbiologique.

Même si ces systèmes sont plus avancés sur la prévision des multiplications d'insectes que sur la prévision du risque microbiologique, ils représentent une anticipation sur l'avenir de la conduite raisonnée du stockage pour préserver toutes les qualités d'origine des matières premières alimentaires, dans la plupart des situations climatiques et à quelque niveau technologique que ce

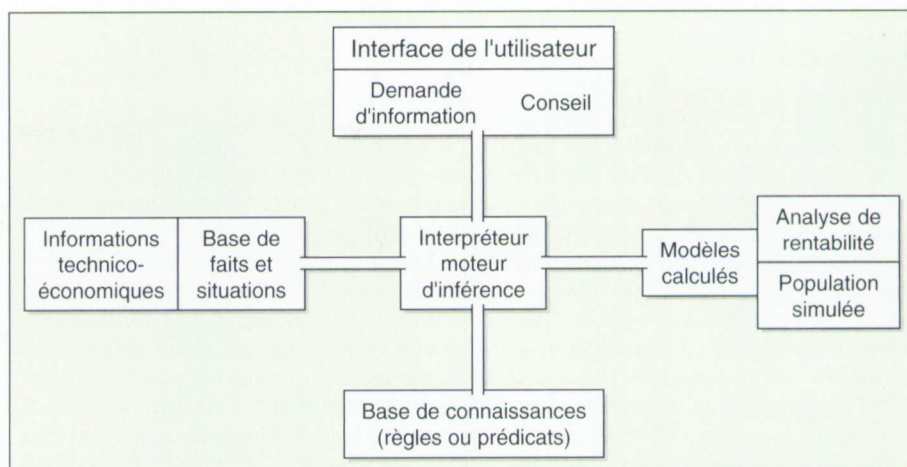


Figure 3. Principe d'utilisation d'un système expert de gestion des stocks et d'information du gestionnaire d'un silo pour faciliter le choix d'itinéraires techniques optimisant la protection du grain [3].

Figure 3. Overall model of an expert-system adapted to the monitoring of safe grain storage. Providing the manager with fundamental information, it allows for diagnostic assistance on insect infestation and improved strategies for optimizing grain-storage protection.

soit (figure 3 [3]). La technologie des capteurs nécessaires à la prise de l'information *in situ* reste cependant coûteuse.

## Conclusion

Notre analyse de la maîtrise de la gestion sanitaire des stocks de denrées représente une réunion de l'ensemble des recherches dans le domaine post-récolte, exposées au Congrès international de Bordeaux (1990), dont les actes contiennent la majeure partie des exemples évoqués ici [4]. Cette synthèse interactive s'articule sur les secteurs qui apportent les éléments nécessaires à l'élaboration du système : règles logiques (base de connaissances), base de données ou de situations et interpréteur (moteur d'inférence).

La base de connaissances, qui permet l'interprétation des situations observées, peut être améliorée et doit être régulièrement alimentée avec de nouveaux modèles, pour couvrir la plus large gamme possible de situations et pour

contenir un maximum d'expertise. Les relations entre variables et les conséquences sur le niveau de qualité du stock sont loin d'être connues dans leur intégralité. La recherche future doit donc s'efforcer de compléter la connaissance sur ces interactions. Ces relations de dépendance logique, ou bio-mathématique, doivent être parfaitement modélisées pour pouvoir s'intégrer dans les systèmes d'intelligence artificielle de gestion de stocks auxquels on commence à s'intéresser aujourd'hui.

En effet, il ne servirait à rien de bien connaître l'insecte, ou la moisissure, ou les méthodes de lutte, si l'on ne savait pas comment connecter ces connaissances dans l'ensemble écologique complexe que représente le stock.

On peut donc s'attendre à une réorientation des études en écophysiologie, en méthodes de surveillance des facteurs d'altération et en évaluation des risques de détérioration, autour de cet objectif, qui va dans le même sens que la tendance évoquée au début, améliorer la sécurité des aliments ■



## Résumé

Les préoccupations actuelles en matière de préservation des denrées alimentaires se répartissent dans différentes thématiques qui vont des technologies de conservation des denrées à la connaissance des ravageurs et des micro-organismes, en passant par les systèmes-experts de gestion sanitaire des stocks.

La plupart des études les plus récentes en la matière sont consacrées aux recherches appliquées sur la prévention et la lutte contre les causes d'altération des stocks (techniques, biologiques, physico-chimiques). Les recherches fondamentales se développent notamment pour préparer la situation nouvelle créée par la nécessaire diminution des intrants dans la protection chimique (nouveaux itinéraires techniques). On peut remarquer que les études sur l'éco-physiologie des arthropodes, la microflore et la biosynthèse de toxines fongiques, le comportement des rongeurs, la modélisation pour la maîtrise de l'altération des denrées, ainsi que l'intégration des aspects économiques en protection des stocks, sont, plus que jamais, à l'ordre du jour pour aboutir à l'assurance de qualité des matières premières de l'industrie agro-alimentaire.

Trois thèmes, qui conditionnent la maîtrise du processus de détérioration qualitative, sont particulièrement actuels :

- les résidus de pesticides (insecticides pour l'essentiel), et, plus généralement, les xénobiotiques présents dans les denrées alimentaires ;
- les atmosphères modifiées destinées à la préservation de la qualité dans les systèmes de stockage hermétiques, notamment les aspects microbiologiques avec les grains humides en milieu confiné ;
- la prévision et le dépistage précoce des altérations d'origine biologique, en particulier les aspects entomologiques.

## Références

1. Cahagnier B, Lesage L, Richard-Molard D. Microbiological quality of grains and ergosterol content. In : Fleurat-Lessard F, Ducom P, eds. *Proceedings 5th Int Working Conf on Stored-Product Protection (Bordeaux, septembre 1990)*. Bordeaux : INRA/SPV, 1991 : 261-77.
2. Wilkin DR, Fleurat-Lessard F. The detection of insects in grain using conventional sampling spears. In Fleurat-Lessard F, Ducom P, eds. *Proceedings 5th Int Working Conf on Stored-Product Protection (Bordeaux, septembre 1990)*. Bordeaux : INRA/SPV, 1991 : 1445-54.
3. Wilkin DR, Mumford JD, Norton GA. The role of expert systems in current and future grain protection. In : Fleurat-Lessard F, Ducom P, eds. *Proceedings 5th Int Working Conf on Stored-Product Protection (Bordeaux, septembre 1990)*. Bordeaux : INRA/SPV, 1991 : 2039-47.
4. Fleurat-Lessard F, Ducom P. *Proceedings of Fifth International Working Conference on Stored-Product Protection (Bordeaux, septembre 1990)*. Bordeaux : INRA/SPV, 1991 ; 3 vol., 2066 p.

Cahiers d'études et de recherches francophones

Santé

Editorial

Article de synthèse  
Études originales

Notes méthodologiques

Option

Optimologie de santé publique : adapter l'offre à la demande  
Serge Rueland

Prévention et communication dans un programme de santé oculaire  
Yves Leff, Marie-Thérèse Bonna, Monique Sella et al.

Malvoyance et cécité au Cameroun  
Jean-Michel L'Homme, André Loug, André Aouag, et al.

La cécité dans la région de Kara au Togo  
Jean-François Gilibert

L'infection par le VIH chez les femmes en zone rurale de Côte-d'Ivoire  
Bernadette Béné, Jean-Pierre L'Homme, Catherine Brangoué, et al.

Santé environnementale et dioussane  
Intérêt d'études au Vietnam  
Huong Binh, Pierre Vinagre, Boucraha Coustou

Test d'agglutination pour le diagnostic des pneumonies  
Philippe A.M. Camargo, Marcelle G. Almeida, Adilberto F. Reis et al.

Visualisation de données  
Claude Lacombe

La rédaction scientifique : choisir et utiliser les figures  
Renée Mouton

VIH et programmes de santé dans les PED  
Benoît P. Valleron

Volume 3 Numéro 1 page 3 à 66 Janvier - Février 1993

# La Santé et le développement

Deux enjeux majeurs du XXI<sup>e</sup> siècle

DES DONNÉES, DES RÉFÉRENCES, DES MÉTHODES, DES SYNTHÈSES

■ Un reflet de la science contemporaine appliquée à la santé des hommes

■ Une ouverture vers la compétition internationale par la publication scientifique

■ Un nouvel espace d'acquisition et de diffusion de la connaissance en santé

■ Un témoignage de la vitalité des équipes qui communiquent en français

### CAHIERS/SANTÉ TARIFS D'ABONNEMENT 1993 (1 an - 6 numéros)

	Particuliers	Institutions	Étudiants (1)
France et autres pays CEE	380 FF	650 FF	250 FF
Afrique, Amérique latine, Asie du Sud-Est, Liban	190 FF	325 FF	125 FF
Europe orientale	95 \$C	165 \$C	65 \$C
Canada, États-Unis	380 FF	650 FF	250 FF
Autres pays			

Les frais de port sont inclus dans ces tarifs.

(1) Tarifs étudiants consentis sur présentation de la photocopie R<sup>e</sup> / V<sup>e</sup> de la carte d'étudiant en cours de validité.

Veillez m'abonner au tarif : \_\_\_\_\_ FF

Je joins à l'ordre de John Libbey Eurotext  
 un chèque bancaire  un chèque postal

Nom de l'abonné \_\_\_\_\_

Spécialité \_\_\_\_\_

Adresse complète \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

Adresser ce bulletin à : John Libbey Eurotext, 6, rue Blanche, 92120 - Montrouge, France