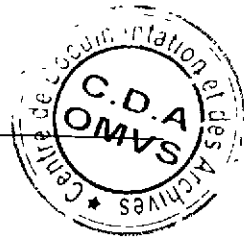


Sommaire



Préface.....	7
Introduction	9

Partie 1 Stockage des grains à l'abri des altérations de la qualité sanitaire

1. Conservation des céréales sans pertes après récolte.....	15
Repères technico-économiques sur la conservation des grains (en France et dans le monde).....	15
Spécificité des pratiques de conservation des céréales et des silos de stockage des grains.....	19
Configuration d'un OS de céréales et conditions requises pour la conservation à long terme.....	23
2. Dangers biologiques et risques d'altération de la qualité.....	31
Composantes de la qualité prises en compte dans les contrats.....	32
Aspects sanitaires présentant un risque majeur... ..	36
Détérioration des grains de deux types distincts : pertes qualitatives et quantitatives	40
3. Détérioration des grains après récolte : les insectes, premier facteur de pertes	51
4. La lutte contre les insectes des céréales entreposées : une nécessité réglementée.....	55

Partie 2
Usage, devenir et traçabilité des insecticides
autorisés pour le traitement des grains après récolte
(du grain au pain)

5. Protection insecticide des grains et législation	61
Traitement insecticide des grains en post-récolte et persistance des résidus.....	61
De la nécessité de protéger les grains et graines contre les insectes	61
Différentes stratégies de protection des grains et graines contre les insectes granivores	63
Substances actives (et spécialités commerciales) autorisées en France pour le traitement des céréales.....	64
Mode d'action toxique des insecticides autorisés en traitement direct des grains stockés	70
Rémanence et profils de dégradation des résidus d'insecticides (modélisation prédictive <i>a priori</i> de la dégradation naturelle au cours du stockage)	72
Rappel de la législation sur les résidus d'insecticides et la fixation des seuils réglementaires	81
Notions fondamentales et sigles pour comprendre la législation sur les résidus de pesticides.....	81
Circuits de l'homologation des substances actives et des spécialités commerciales.	83
Contenu des dossiers toxicologiques et d'efficacité en vue de l'obtention d'une AMM	84
Les inconvénients et les risques spécifiques liés à la présence de résidus dans les céréales en grains	86
Évaluation <i>a priori</i> du ratio bénéfice/risque pour une nouvelle substance active.....	87
Risques pour l'utilisateur industriel et les applicateurs	88
Risque de dépassement de LMR par traitements multiples sur les mêmes lots de grains.....	89
Risques pour la santé des employés des silos	90
Risque d'apparition de populations d'insectes résistantes.....	92
6. Origine des résidus d'insecticides contaminant les céréales et les aliments dérivés — Méthodes de dosage et traçabilité	99
Plans de surveillance nationaux et dispositions pour la réduction des usages de pesticides.....	100

Plans de surveillance et de contrôle des résidus dans les produits végétaux.....	100
Stratégies pour la limitation des usages des pesticides ..	101
Méthodes d'analyse	102
Extraction des résidus d'une matrice céréalière	102
Analyse proprement dite	103
Méthodes rapides ou en phase de pré-développement	103
Traçabilité des résidus, du grain jusqu'aux aliments à base de céréales	
— Facteurs de transfert	104
Schémas de distribution des résidus dans les produits de 1 ^{re} transformation du blé	105
Coefficients de transfert du grain aux produits transformés ..	107
Facteur de conversion des produits de dégradation	113
Réflexions sur les approches réglementaires de surveillance des risques « résidus de traitement des grains dans les aliments à base de céréales » ..	114

Partie 3

Principaux leviers pour la réduction des risques de contamination des aliments à base de céréales par les résidus

7. Solutions alternatives à l'usage des insecticides générateurs de résidus	119
Composantes de la protection intégrée appliquée aux systèmes post-récolte.....	121
Spécificités de la protection intégrée contre les insectes des grains et plans de prévention des risques sanitaires en OS	121
Identification des espèces présentes sur les lieux de stockage et outils de surveillance	123
Notion de seuil de nuisibilité appliqué à la prévision du risque d'infestation des grains	127
Aménagement des itinéraires techniques de stockage et méthodes de lutte alternatives	129
Intégration de l'ensemble des outils et méthodes dans un système expert.....	133
Thèmes de recherche actuels en accord avec l'évolution réglementaire sur les résidus d'insecticides de protection des grains ..	135
Filière du blé panifiable (boulangerie, pâtisserie, bio...)	135
Filière du blé dur (semoulerie, pâtes, couscous...)	137
Filière du maïs (alimentation animale et brasserie)	137

Filière de l'orge (malterie, brasserie et alimentation animale)	138
Filières des autres céréales (seigle, avoine, sarrasin, épeautre, sésame...) et biologiques... ..	138
8. Perspectives d'avenir : les systèmes experts	139
Applications du management intégré des populations (MIP) d'insectes nuisibles	139
Coûts des différentes stratégies de lutte contre les insectes nuisibles	141
Stratégies de lutte sans insecticide chimique pour les filières céréales « bio ».....	145
Conclusion générale et perspectives	148
Glossaire	151
Références bibliographiques	155

Préface

« La maîtrise de la sécurité sanitaire des matières premières de base de l'alimentation de l'homme et des animaux repose sur le principe de prévention et sur des stratégies de suivi et de contrôle qualité des aliments, scientifiquement fondées et mises en application du champ à l'assiette. Ces stratégies reposent sur l'analyse et la gestion efficace des risques en les hiérarchisant pour cibler en priorité ceux qui impactent le plus la prospérité économique. »

FAO, 2009

Depuis 2009, en France, la coordination de la recherche appliquée, du transfert technologique et de la formation des acteurs des filières de production végétale de grande culture (et de l'alimentation animale), sur le thème de la qualité sanitaire des productions végétales de grande culture, est assurée par le réseau mixte technologique (RMT) Quasaprove, animé conjointement par l'Acta et l'Inra. Le RMT Quasaprove est chargé d'assurer une coordination transversale des activités de recherche appliquée, de formation et de transfert des chercheurs, ingénieurs, techniciens et enseignants qui se préoccupent de la gestion des contaminants (mycotoxines, éléments traces, résidus phytosanitaires et bio-agresseurs) à l'origine des risques de détérioration de la qualité sanitaire à toutes les étapes de la chaîne alimentaire des productions végétales de grande culture : production au champ, récolte, stockage/conservation, transformations technologiques et par l'animal consommateur.

Au stade de la conservation après récolte, même si les produits végétaux peu hydratés (céréales, oléo-protéagineux, légumineuses et leurs produits de transformation et coproduits) posent moins de problèmes sanitaires que les produits hydratés (fruits et légumes), ils peuvent être infestés par des insectes granivores ou contaminés par les résidus de traitement avec des pesticides. Avec une récolte annuelle de céréales de plus de 70 millions de tonnes (Mt), la France exporte une part importante de sa production vers les pays de l'Union européenne (UE) et les pays tiers pour un chiffre d'affaires annuel de 4 milliards d'euros environ. La qualité sanitaire des lots de céréales brutes destinés aux marchés d'exportation est un atout majeur de la compétitivité des céréales françaises dans un marché mondialisé. Néanmoins, les litiges commerciaux portant sur ces défauts de qualité sanitaire (présence d'insectes et de résidus de pesticides) sont relativement fréquents et génèrent des pertes économiques pouvant aller jusqu'à une dépréciation importante de la valeur marchande, voire au rejet de la livraison. Pour faire

face à ce risque économique, tous les pays exportateurs de céréales ont développé des stratégies de préservation de la qualité sanitaire et hygiénique des lots de grains et graines mis sur le marché, stratégies fondées sur une approche systémique de l'analyse et de la gestion des risques : la protection antiparasitaire intégrée (PAI) (en anglais *integrated pest management* ou IPM). En France, la stratégie majoritaire de protection des stocks de grains contre les insectes est plutôt basée sur les traitements des grains avec des insecticides à résidus persistants jusque dans les produits transformés, au moins autant que sur la prévention.

Cet ouvrage a été initié sous l'égide du RMT Quasaprove en tant que dossier scientifique et technique destiné à faire un bilan des connaissances actuelles sur la contamination des céréales alimentaires par des résidus de pesticides, à la lumière des travaux de recherche menés au cours des quinze dernières années à l'Inra et dans les instituts techniques des grandes productions végétales : Arvalis-Institut du végétal, Terres Inovia (ex-Cetiom), Institut technique de l'agriculture biologique (Itab), Institut français de la brasserie-malterie (IFBM). Il a pour objectif majeur de fournir les éléments nécessaires à la mise en pratique de la PAI des stocks de céréales, fondée sur les connaissances scientifiques et techniques les plus récentes. Le contexte actuel de réduction des usages des pesticides soutenue par la législation nationale (plan Écophyto 2018) ou européenne (« paquet pesticides » européen) pousse les opérateurs des filières de production végétale à changer leurs pratiques dans la préservation des stocks de céréales : en limitant ou abandonnant la lutte chimique insecticide et en adoptant les stratégies de la protection intégrée. Les méthodes et outils qui peuvent faciliter cette transition sont largement documentés et illustrés dans ce dossier. L'accent a été mis sur les présentations imagées et l'illustration par de nombreux graphiques et schémas explicatifs pour une lecture plus agréable. L'ouvrage se veut accessible à tous, notamment aux élèves de l'enseignement secondaire et à leurs professeurs, comme aux personnes intéressées par la connaissance technique de base sur la problématique de la conservation raisonnée des céréales alimentaires et la gestion des risques de contamination par les insectes nuisibles. Nous espérons qu'il sera un guide précieux pour tous les acteurs des entreprises de collecte-stockage et commercialisation des céréales, afin de réussir la transition nécessaire entre les pratiques (révolues) de la protection chimique « d'assurance » et la protection intégrée basée sur la prévention et l'anticipation des risques.

Émilie Donnat (Acta) et Francis Fleurat-Lessard (Inra)
Co-animateurs du RMT Quasaprove
www.quasaprove.org

Introduction

Dans la plupart des pays du monde, les céréales constituent une base irremplaçable de l'alimentation humaine et animale grâce à leur apport en nutriments majeurs comme les glucides et les protéines. Les récoltes annuelles mondiales confondues de maïs, de riz et de blé ont dépassé deux milliards de tonnes en 2012-2013. La France fait partie des trois pays du monde qui produisent le plus de blé et elle est le premier pays de l'Union européenne (UE) pour la production des quatre céréales à vocation alimentaire (blé tendre et blé dur, orge et maïs). Les grands pays producteurs de céréales (États-Unis, Canada, Australie, France...) ont chaque année des récoltes excédentaires dont une part plus ou moins importante est exportée pour alimenter un commerce international très actif tout au long de l'année. L'autre partie de la récolte est utilisée pour la transformation en aliments après une période de conservation réalisée par les entreprises spécialisées de collecte-stockage — appelées communément « organismes stockeurs » (OS) —, ou bien elle reste sur le lieu de production (en stockage « à la ferme ») pour des raisons économiques ou pour assurer la nourriture des animaux d'élevage. Pendant cette période de conservation de longue durée des céréales, mises sur le marché pour un approvisionnement régulier des entreprises et industries alimentaires utilisatrices, les stocks de céréales sont vulnérables à deux risques biologiques majeurs : la prolifération des insectes granivores (charançons, silvains, capucin, triboliums) et le développement de moisissures¹. Le risque de développement de moisissures dans les grains stockés n'est vraiment préoccupant que lorsque les grains sont conservés à une humidité supérieure au seuil recommandé dans les guides de bonnes pratiques de stockage (BPS). À l'opposé, le risque d'infestation des stocks de céréales par les insectes est permanent au cours de la période chaude de l'année (d'avril à octobre).

En France, une grande partie des céréales de production intensive conventionnelle est protégée après la récolte contre les attaques d'insectes par des insecticides rémanents, directement appliqués sur les grains, le plus souvent au moment du remplissage des cellules de stockage. Les résidus de ces traitements persistent pendant plusieurs mois, principalement au niveau des enveloppes du grain (en particulier, dans le son). Dans la majorité des cas, les aliments de grande

¹ La perte de qualité sous l'effet des moisissures se traduit par une baisse progressive de capacité germinative des grains, la perte de vitamines B et E et l'oxydation des acides gras essentiels contenus dans le germe. Le taux de protéines et la valeur énergétique ne sont généralement pas modifiés.

consommation à base de blé (farine, pain, pâtes, biscuits, pâtisseries, semoule, couscous, etc.), qui constituent une source majeure d'énergie et de protéines de notre régime alimentaire, sont issus de produits céréaliers raffinés (farine blanche ou semoule débarrassées des parties périphériques du grain). Toutefois, les meilleures substances pour la santé sont contenues dans le germe et le son plutôt que dans la farine blanche. Il s'agit des fibres qui sont bénéfiques pour le cœur et le fonctionnement du tube digestif, des vitamines B et E, des oligo-éléments (fer, magnésium, zinc, potassium, sélénium) et des acides gras essentiels ou des phyto-sterols, concentrés dans le son et le germe qui sont séparés de la farine blanche au moment de la mouture. Les nutritionnistes recommandent la consommation de céréales complètes et de produits céréaliers confectionnés à partir de farine intégrale, c'est-à-dire contenant le germe et les enveloppes du grain. Pour éviter que les résidus de traitement insecticide en cours de conservation des grains ne viennent contaminer les aliments à base de céréales « intégrales » ou de farines enrichies en sons, germes ou grains entiers, la protection des stocks par les traitements insecticides appliqués parfois en traitement d'assurance « à l'aveugle » est à proscrire. D'ailleurs, cette méthode de protection des stocks de céréales alimentaires par des traitements insecticides à résidus persistants est en voie de disparition dans tous les pays grands producteurs de céréales (États-Unis, Canada, Australie, Allemagne) et aussi acteurs sur le marché mondial. Ainsi, la France fait aujourd'hui figure d'exception en n'ayant favorisé ni la fumigation avec des gaz insecticides, sans rémanence ni résidus post gazage, ni les stratégies alternatives fondées sur les méthodes physiques de suppression des insectes (choc thermique, atmosphères modifiées ou confinement en cellule étanche, par exemple) qui permettent de s'affranchir de l'usage des pesticides (Fleurat-Lessard et Vincent, 2005). Toutefois, dès la fin du siècle dernier, une prise de conscience que l'ère de la protection des plantes et des denrées agricoles brutes avec des pesticides organiques de synthèse était révolue a eu lieu (Deguine et Ferron, 2006). Mais cet usage perdure encore pour la protection insecticide des stocks de céréales. Cette pratique que l'on pourrait qualifier « d'exception française » est très bien documentée par des enquêtes récentes réalisées par l'Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer (FranceAgriMer) et l'Inra (Leblanc *et al.*, 2011 ; Leblanc et Fleurat-Lessard, 2013). Pourtant, depuis le début des années 2000, la recherche de solutions alternatives à ces traitements de grains stockés avec des pesticides a été productive, tant à l'Inra que dans les instituts techniques concernés (Arvalis-Institut du végétal, Cetiom et IFBM) ou au laboratoire national des Denrées stockées du service régional de l'Alimentation au ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Ces approches ont été validées dans plusieurs projets de recherche-développement intégrés régionaux, nationaux ou européens (comme les projets QualiGrain, EcopréservGrain et EcoprotectGrain), au moins au stade pilote, et ont fait l'objet de formations à destination des acteurs des filières céréalières. Bien qu'elle soit plus exigeante que les pratiques actuelles, la protection antiparasitaire intégrée (PAI) est actuellement appliquée pour les céréales produites sous charte de qualité « sans traitement pesticide » (céréales produites selon les principes de l'agriculture biologique, charte des blés CRC, par ex.). Mais elle tarde à être mise en pratique courante pour la protection des stocks

de culture conventionnelle, notamment ceux destinés à alimenter les marchés de masse à l'exportation (Fleurat-Lessard, 2013).

C'est pour contribuer à faire évoluer les pratiques actuelles de désinsectisation des grains stockés — caractérisées par un usage immodéré d'insecticides à résidus persistants — en faveur de l'adoption des stratégies de la protection antiparasitaire intégrée — qui s'affranchissent autant que faire se peut de l'usage de pesticides — que la présente monographie a été élaborée. Elle se compose de trois parties principales articulées de façon logique :

- une première partie aborde la description des pratiques de stockage et de protection des récoltes de céréales contre les attaques d'insectes dans les entreprises de collecte et stockage (les OS) en France, afin de mieux évaluer les contraintes et difficultés associées à leur position d'intermédiaire entre le producteur céréalier et les entreprises de transformation en aliments, ainsi qu'à leur rôle de garant de la préservation de la qualité sanitaire pendant toute la période de conservation des stocks avant utilisation ;
- le second volet présente un ensemble de connaissances issues de résultats d'expériences publiés dans des revues scientifiques, sur les pratiques actuelles de traitement insecticide des stocks de céréales alimentaires et les conséquences de la persistance des résidus dans la chaîne alimentaire des différentes filières céréalières (« du grain au pain » ou « de l'orge à la bière ») ;
- le troisième chapitre aborde et détaille les stratégies alternatives qui peuvent permettre aux responsables d'OS de s'affranchir des traitements avec des insecticides rémanents dans la plupart des situations auxquelles ils sont confrontés au cours de la conservation des grandes masses de grains stockés. Les bases réglementaires préconisant l'application de la démarche de la protection antiparasitaire intégrée des stocks de céréales sont également rappelées dans ce chapitre.

Toute transition technologique nécessite des investissements, pour disposer d'outils d'accompagnement et de formation, et du temps, pour s'approprier ces outils. C'est le cas de la transition nécessaire entre protection chimique et protection intégrée des stocks de céréales alimentaires contre les insectes déprédateurs. L'absence de résidus de pesticides dans tous nos aliments à base de céréales est possible à la condition d'appliquer de manière rigoureuse la démarche fondée sur la prévention et la prévision des risques, à la base de la protection antiparasitaire intégrée. Le présent ouvrage n'a pas la prétention de donner toutes les clés pour réaliser une transition réussie, mais il s'efforce d'apporter les éléments de construction permettant d'atteindre cet objectif de manière réaliste. La recherche appliquée est toujours active sur le sujet, pour construire les outils d'aide à la décision qui devraient faciliter cette transition.