



FranceAgriMer

La maîtrise des mycotoxines du champ à l'assiette : une préoccupation agricole, alimentaire et de santé publique – Cas des céréales –

Graziella RIGAL – Laboratoire FranceAgriMer -

La filière céréalière Française

Trois grands types d'acteurs :

Producteurs
(environ 300 000 exploitations)

Collecteurs
(170 coopératives,
983 négociants)

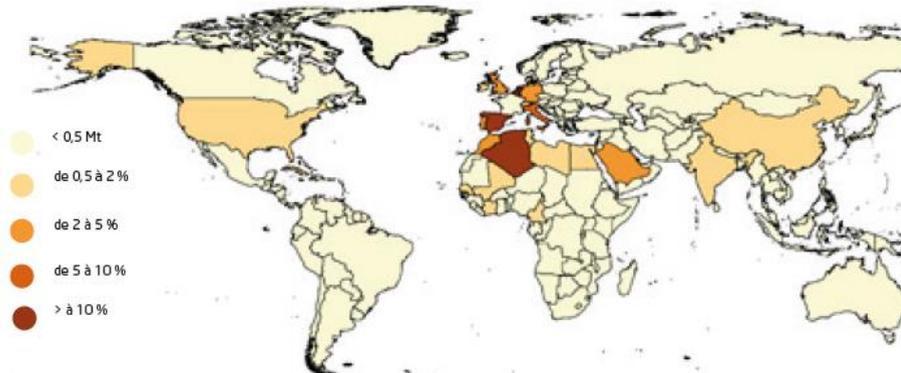
Transformateurs
Usages alimentaires et
non alimentaires

Une filière économique se positionnant :

- 7^{ème} producteur mondial toutes céréales confondues
- 1^{er} producteur et exportateur européen de céréales

CARTE DES PRINCIPAUX MARCHÉS À L'EXPORT

Principaux marchés à l'export (en % des volumes totaux de céréales exportés - camp. 16/17)



Source FranceAgriMer – fev 2018



La qualité
sanitaire sous
surveillance

Généralités sur les mycotoxines

Les mycotoxines sont des toxines produites par des moisissures

Les moisissures sont des champignons microscopiques qui se développent sur la plante au champ ou en cours de stockage

Sous certaines conditions des moisissures peuvent sécréter des métabolites secondaires toxiques : les mycotoxines

↪ un même champignon  Plusieurs mycotoxines

Ex : genre *Fusarium* : déoxynivaléol (DON), nivaléol, zéaralénone...

↪ une même mycotoxine  Plusieurs espèces de champignons

Ex : Espèces *Fusarium graminearum* et *Fusarium culmorum* producteurs de DON

↪ Les souches de champignons  Plus ou moins productrices

Généralités sur les mycotoxines

↪ Présence du champignon  Présence de mycotoxines

↪ Absence du champignon  Absence de mycotoxines

Les mycotoxines peuvent être présentes en tant que contaminants naturels dans de nombreuses denrées d'origine végétale : céréales, fruits, fourrages, épices, fruits à coque ...

Elles sont très résistantes et ne sont pas ou peu dégradées par les processus de transformation (cuisson, oxydation...) : elles restent présentes sur toute la chaîne alimentaire

Leur ingestion peut provoquer des effets d'ordre chronique rarement aiguë

La plus ancienne mycotoxicose liée aux céréales connue est l'ergotisme ou «mal des ardents» provoquée par l'ingestion de toxines présentes dans l'ergot du seigle



Les mycotoxines dans la filière céréalière

Dès 1994, des avis du CSAH (Comité scientifique de l'alimentation humaine) puis en 1998 un rapport du CSHPH (Conseil supérieur d'hygiène publique de France) dressent des bilans des principales mycotoxines rencontrées dans les matières premières et les aliments dont les céréales et les produits céréaliers.

Principales Moisissures	Principales mycotoxines	Dangérosité pour l'homme	Principaux effets sur l'organisme
<i>Fusarium</i>	Trichothécènes (dont déoxynivalénol, T2/HT2...)	+	Troubles de la réponse immunitaire
	Zéaralénone	+	Troubles hormonaux
	Fumonisines	++	Cancérigène possible Troubles de la réponse immunitaire
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxines	+++	Cancérigène Troubles du foie et de la réponse immunitaire
<i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i>	Ochratoxine A	++	Cancérigène possible Troubles nerveux, rénaux, immunitaire

Les mycotoxines dans la filière céréalière

En 2001, le règlement 466/2001 fixe un seuil réglementaire en alimentation humaine pour l'aflatoxine B1 et les aflatoxines totales (B1+B2+G1+G2) dans les céréales et ses produits dérivés.

Il est modifié pour introduire :

- l'ochratoxine A (règlement 472/2002)
- les toxines de *fusarium* telles que la déoxynivalénol (DON) et la zéaralénone (règlement 856/2005)

En 2006, il est remplacé par le règlement 1881/2006 actuellement en vigueur intégrant d'autres mycotoxines telles que les fumonisines

Dans la mesure où les facteurs de réduction liés au process étaient connus, ils ont été pris en compte par le législateur

	Déoxynivalénol ⁽¹⁷⁾	en µg/kg
2.4		
2.4.1	Céréales brutes ⁽¹⁸⁾ ⁽¹⁹⁾ autres que le blé dur, l'avoine et le maïs	1 250
2.4.2	Blé dur et avoine bruts ⁽¹⁸⁾ ⁽¹⁹⁾	1 750
2.4.3	Maïs brut ⁽¹⁸⁾ à l'exception du maïs brut destiné à être transformé par mouture humide ⁽²¹⁾	1 750 ⁽²⁰⁾
2.4.4	Céréales destinées à la consommation humaine directe, farine de céréales, son et germe en tant que produit fini commercialisé pour la consommation humaine directe, à l'exception des denrées alimentaires figurant aux points 2.4.7, 2.4.8 et 2.4.9	750
2.4.5	Pâtes (sèches) ⁽²²⁾	750
2.4.6	Pain (y compris les petits produits de boulangerie), pâtisseries, biscuits, collations aux céréales et céréales pour petit-déjeuner	500
2.4.7	Préparations à base de céréales et aliments pour bébés destinés aux nourrissons et enfants en bas âge ⁽²⁾ ⁽¹⁾	200

Les mycotoxines dans la filière céréalière

En mars 2009, l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) publie un rapport concernant l'évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale

Depuis de nombreux avis de l'EFSA (European Food Safety Authority) ont été publiés évaluant le risque potentiel des formes modifiées des mycotoxines natives. Les mesures de gestion sont en cours de discussion.

Mycotoxine « native » : Structure de base de la mycotoxine formée par le champignon

Mycotoxine « modifiée » : fait suite à une modification biologique ou chimique de la structure chimique de la mycotoxine native par un organisme animal, végétal ou par une moisissure. Lorsqu'il s'agit d'une mycotoxine biologiquement modifiée issue d'une réaction de conjugaison dans une plante on parle alors de **Mycotoxine masquée** au sens strict.

Les mycotoxines dans la filière céréalière



Principales mycotoxines natives et modifiées recensées

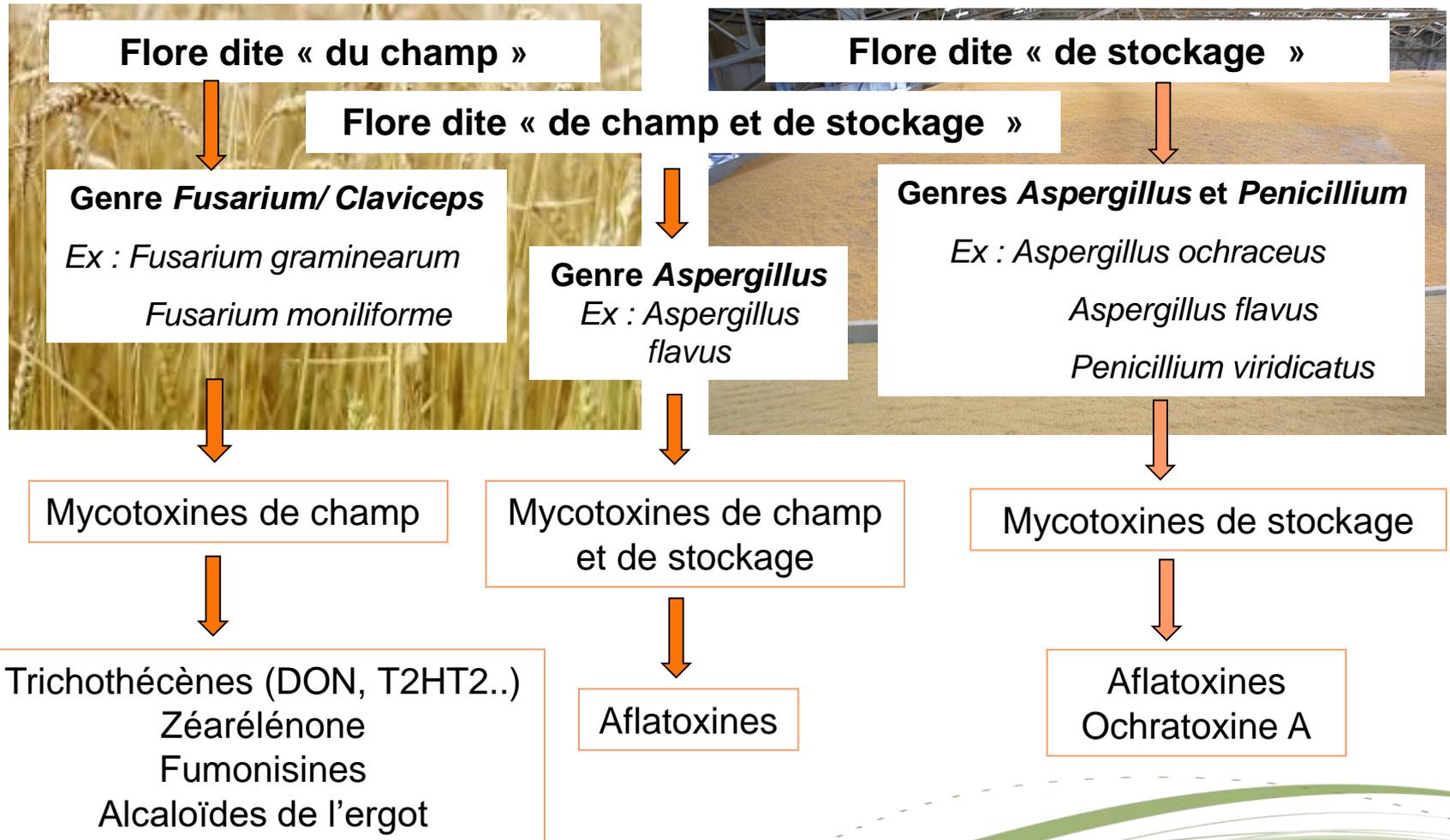
Mycotoxine "native"	Mycotoxine "modifiée"
Déoxynivaléol	15-acétyl-DON (15ADON) 3-acétyl-DON (3ADON) DON-3-O-glucoside (DON3O-Glc) DON-3/8/15-glucuronide (DON3/8/15-GlcA) 3-acetyl-DON-glucuronide (3ADON-GlcA) DON-3-β-D-glucopyranoside (D3G) DON-oligosaccharides Deepoxy-DON (DOM-1) 3-epi-DON 9-hydroxymethyl DON lactone Nor-DON A-F DON-sulfonate (DON-S)
Zéaralénone	ZEN-14-glucuronide (ZEN14-GlcA) ZEN-14-β-D-glucopyranoside (ZEN14G) ZEN-14-sulfate (ZEN14S) α-zearalenol (α-ZEL) β-zearalenol (β-ZEL) α-zearalenol-14-α-D-glucopyranoside (α-ZEL14G) β-zearalenol-14-β-D-glucopyranoside (β-ZEL14G)

Mycotoxine "native"	Mycotoxine "modifiée"
T2	T2-glucuronide (T2-GlcA) T2-glucoside (T2-Glc)
HT2	HT2-3/4-glucuronide (HT2-3/4-GlcA) HT2-glucoside (HT2-Glc)
Fumonisine	F N-(carboxymethyl) FB ₁ N-(1-deoxy-D-fructos-1-μl) HFBx F-N-acetyl F-O-acetyl F cachées F liées à l'amidon
Aflatoxine	AFB ₁ -epoxide
Ochratoxine	OTA-oligosaccharides 14-(R)-OTA 14-decarboxy-OTA

En gras : les mycotoxines masquées au sens strict.

D'après Alix PIERRON et al., 2016, journées recherche porcine, 48, 331-340

Les mycotoxines dans la filière céréalière

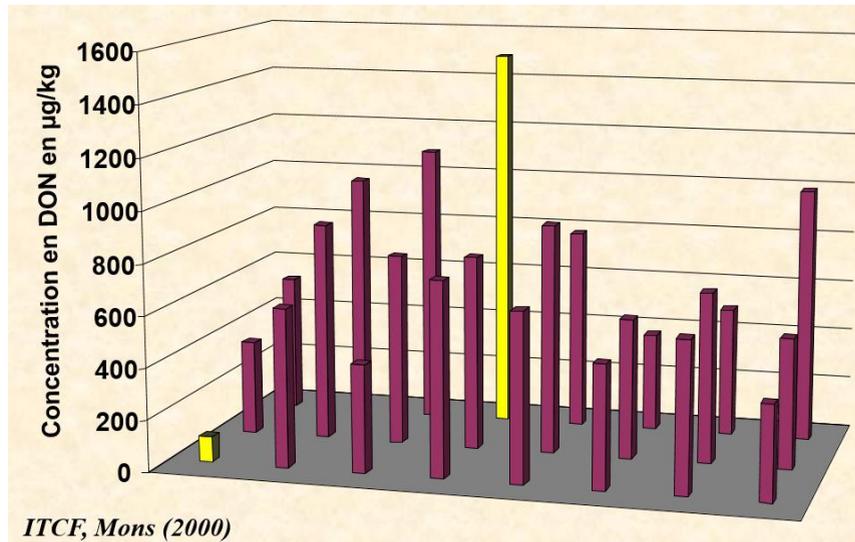


Les mycotoxines dans la filière céréalière

La contamination des céréales par les mycotoxines :

- Variable selon les années
- Fluctuante selon les céréales
- Plus ou moins régionalisées
- Très hétérogène : nécessite des plans d'échantillonnage spécifiques

- Exemple du DON dans un champ de 10 hectares



Séminaire du 3 octobre 2018

La santé végétale dans le concept One Health :
quelle contribution ?

Gestion du risque mycotoxines au champ

➔ Identification des facteurs liées aux conditions de culture :

Précédent cultural de type maïs/sorgho



Travail du sol superficiel



Sensibilité de la variété à la fusariose



Présence du *fusarium*

Climatologie pluvieuse à la floraison



Gestion du risque mycotoxines au champ

➔ Mise à disposition d'outils de diagnostic du risque pour les agriculteurs

- Sensibilité variétale évaluée à l'inscription variétale (grille CTPS/GEVES)

Résistances aux bioagresseurs									
	Pratin verrot	Oïdium**	Rouille jaune (sur feuilles)**	Rouille jaune (sur épis)**	Séparaison tiges	Rouille brune**	Podarisme (F. graminearum et autres spp.)	Complexes Mosaïques	Cécidomyie orange
Albator	7	7	7	-	6	7	4,5	-	-
Amboise *	3	7	7	-	6,5	7	3,5	-	-
Annecy	2	6	6	(8)	6	7	5	-	-
Concret *	3	6	7	-	7	5	4,5	-	-
Divis	3	7	8	(8)	6	8	5,5	-	-
Fantomas	3	6	7	(8)	6	7	5	-	-
Fripou *	7	6	7	(8)	6	5	4	-	-

Source CTPS/GEVES

- Des résultats issus de la recherche fondamentale et appliquée

- Réseau mixte technologique relatif à la qualité sanitaire des productions végétales et grandes cultures
- Des essais parcellaires permettant l'alimentation de bases de données ensuite modélisées



Gestion du risque mycotoxines au champ

➔ Mise à disposition d'outils de diagnostic du risque pour les agriculteurs

- Exemple du logiciel Myco-LIS d'ARVALIS

Grille de l'incidence agronomique sur le risque DON

	Précédent	Travail du sol	Sensibilité variétale	Recommandation
 <p>Céréales à paille, colza, lin, pois, féverole, tournesol</p>		Labour	Peu sensible Moyennement sensible Sensible	1
		Non labour	Peu sensible Moyennement sensible Sensible	2
 <p>Betteraves, pomme de terre, soja, autres</p>		Labour	Peu sensible Moyennement sensible Sensible	2
		Non labour	Peu sensible Moyennement sensible Sensible	3
 <p>Maïs, sorgho</p>		Labour	Peu sensible Moyennement sensible Sensible	2 3
		Non labour	Peu sensible Moyennement sensible Sensible	4 5 6



Grille de diagnostic élaborée par ARVALIS - Institut du Végétal 2005

Séminaire du 3 octobre 2018

La santé végétale dans le concept One Health :
quelle contribution ?

Gestion du risque mycotoxines au stockage

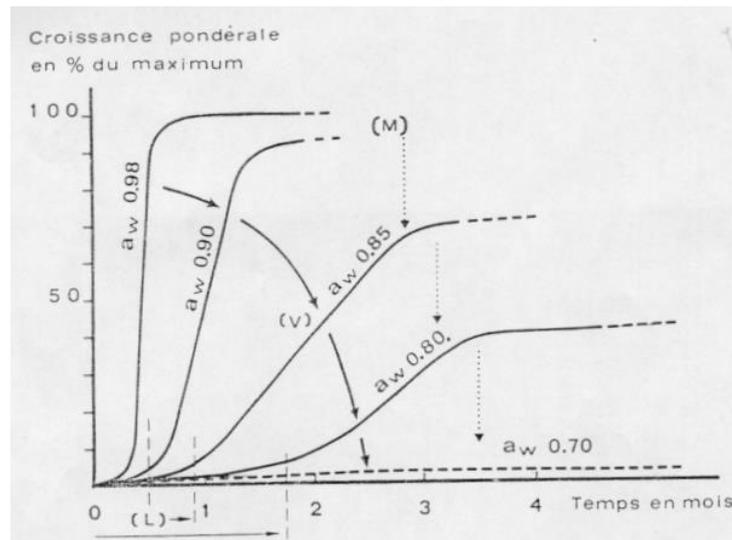
➔ Identification des facteurs de risque liés aux conditions de stockage

Quantité d'eau libre disponible
supérieure à 0.75

Mélange de grain humide et sec

Présence d'insectes ravageurs

« Accidents » lors du stockage



Gestion du risque mycotoxines au stockage

➔ Mise en place de la gestion du risque lors du stockage

- Opération de nettoyage et de triage avant mise en cellule : Les moisissures et la plus grande partie des mycotoxines sont concentrées dans les poussières et les tissus périphériques des grains : le nettoyage des grains réduit les teneurs en mycotoxines de 15 à 30 % selon le procédé utilisé et le débit du grain dans le nettoyeur. Des trieurs optiques peuvent être aussi mis en place (sclérotés d'ergot)
 - Surveillance adaptée des risques de développement de moisissures : bonnes pratiques de stockage (démarche HACCP)
 - Mise à disposition de méthodes de diagnostics rapides (bandelettes)
- Opération de décontamination chimique pour l'alimentation animale (additifs autorisés depuis 2009 pour des lots conformes dans le but d'une réduction pour les aliments destinés aux animaux)

Gestion du risque mycotoxines lors de la transformation

➔ Gestion des risques liées à l'utilisation de céréales

- cahier des charges
- plan de surveillance
- d'une bonne connaissance des process et des facteurs de réduction

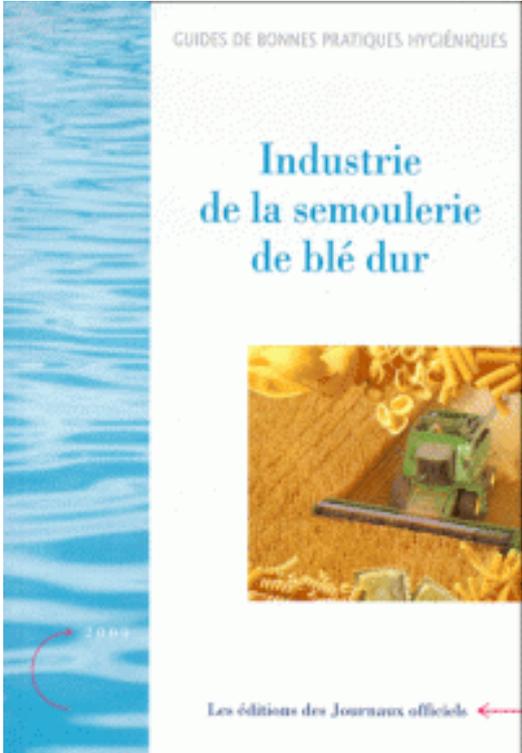
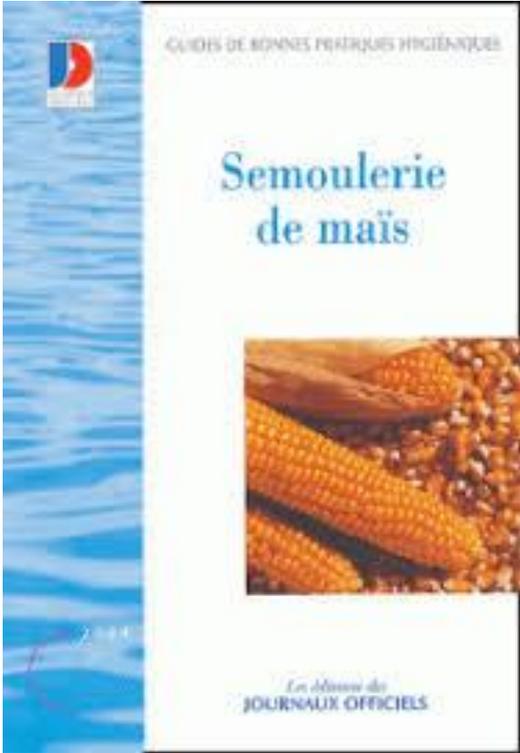
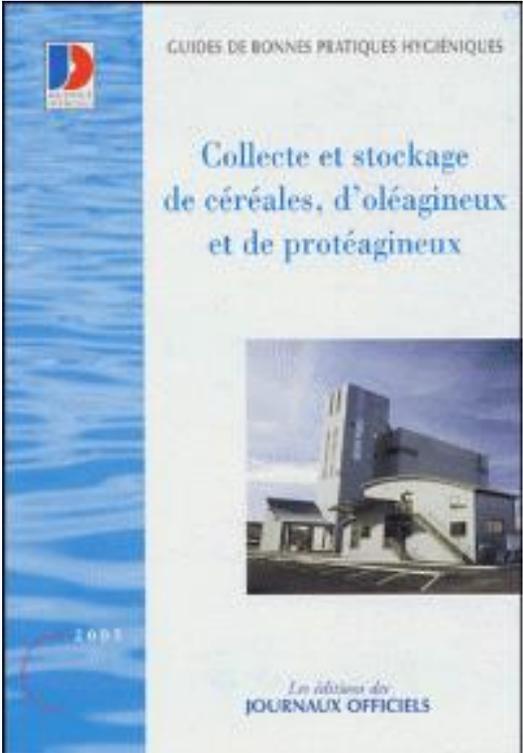
Exemple : suivi de la teneur en DON lors de la transformation de blé durs

	% cumulé de récupération
Blé dur récolte	100
Blé nettoyé	70
Semoule	45
Pâtes sèches	45
Pâtes cuites	25



Les outils de gestion du risque mycotoxine pour la filière

➔ Guides de bonnes pratiques hygiéniques



Les outils de gestion du risque mycotoxine pour la filière

➔ **Guide interprofessionnel de gestion du risque mycotoxines**

Intégration dans les plans de surveillance
Besoin non démontré*
Selon contexte
Nécessaire
Indispensable

* dans les situations pédoclimatiques françaises

Préconisations de surveillance en fonction des couples grains de céréales / mycotoxines

	Mycotoxines de						
	champ					Champ/stockage	stockage
	DON	ZEA	T2-HT2	FUMO	Ergot <i>Claviceps purpurea</i>	AFLA	OTA
Blé tendre	Indispensable	Nécessaire	Selon contexte	Selon contexte	Indispensable	Selon contexte	Selon contexte
Blé dur	Indispensable	Nécessaire	Selon contexte	Selon contexte	Indispensable	Selon contexte	Selon contexte
Orge de printemps	Nécessaire	Selon contexte	Nécessaire	Selon contexte	Nécessaire	Selon contexte	Nécessaire
Orge d'hiver	Nécessaire	Selon contexte	Selon contexte	Selon contexte	Nécessaire	Selon contexte	Nécessaire
Mais	Nécessaire	Indispensable	Nécessaire	Indispensable	Selon contexte	Nécessaire	Nécessaire
Seigle	Nécessaire	Nécessaire	Selon contexte	Selon contexte	Indispensable	Selon contexte	Selon contexte
Sorgho	Nécessaire	Indispensable	Selon contexte	Selon contexte	Selon contexte	Selon contexte	Selon contexte
Avoine	Indispensable	Selon contexte	Nécessaire	Selon contexte	Selon contexte	Selon contexte	Selon contexte
Triticale	Indispensable	Indispensable	Selon contexte	Selon contexte	Indispensable	Selon contexte	Selon contexte

Guide interprofessionnel de gestion des mycotoxines dans la filière céréalière

Edition 2014



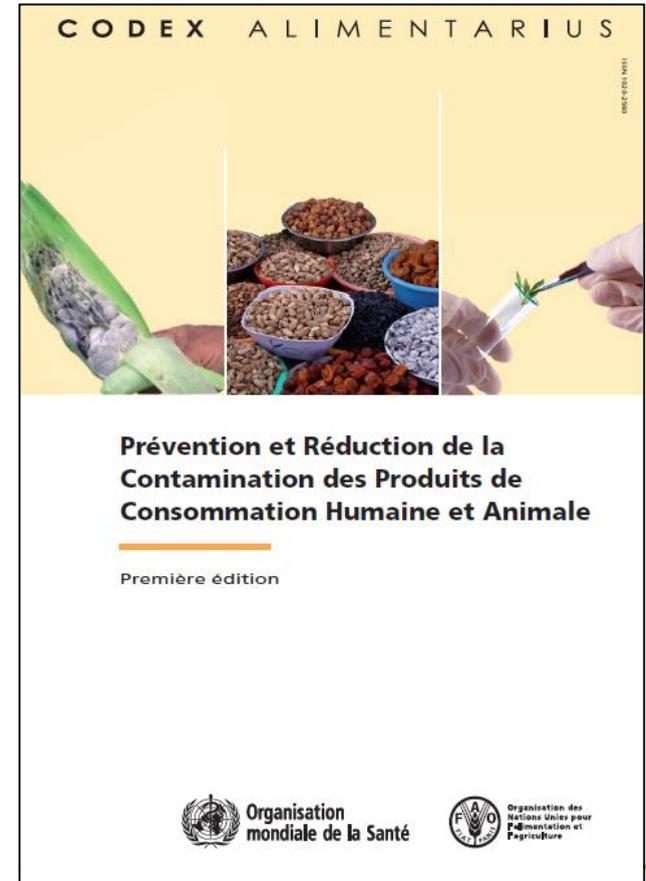
Les outils de gestion du risque mycotoxine pour la filière

➔ Code d'usage publié par le codex publié en 2012

I. MÉTHODES RECOMMANDÉES FONDÉES SUR LES BONNES PRATIQUES AGRICOLES (BPA) ET LES BONNES PRATIQUES DE FABRICATION (BPF)

Semis

4. Envisager la mise en place et le maintien d'un plan de rotation des cultures afin d'éviter de planter le même produit dans un champ durant deux années consécutives. Le blé et le maïs sont particulièrement sensibles à l'espèce *Fusarium* et ne devraient pas être utilisés en rotation l'un après l'autre. Des végétaux comme les pommes de terre, d'autres légumes, le trèfle et la luzerne qui ne sont pas des hôtes de l'espèce *Fusarium* devraient être cultivés en rotation pour réduire l'inoculum en champ.
5. Quand cela est possible et pratique, préparer un lit de semences pour les nouvelles cultures en labourant dessous ou en détruisant ou en enlevant les vieilles têtes à semences, les tiges et autres débris qui pourraient avoir servi ou pourraient servir comme substrats pour le développement de champignons producteurs de mycotoxines. Dans les zones qui sont exposées à l'érosion, des systèmes de culture sans labour peuvent être requis à des fins de conservation des sols.
6. Utiliser les résultats des analyses pédologiques afin de déterminer s'il est nécessaire d'appliquer des fertilisants et/ou des amendements afin d'assurer un pH approprié des sols et une bonne nutrition des plantes, de façon à éviter à ces dernières le stress, notamment pendant la période de développement des semences.



Les outils de gestion du risque mycotoxine pour la filière

➔ Observatoire national et enquêtes nationales

Les objectifs communs sont :

- Action de veille de la filière
- Base de données pouvant contribuer aux débats techniques et scientifiques préalables à l'élaboration d'un cadre réglementaire réaliste et pertinent

- L'observatoire HYPERION de la qualité sanitaire des céréales et des produits céréaliers créé en 2015 (fait suite au plan de surveillance IRTAC de 2000). Produits surveillés : céréales, produits céréaliers de 1^{ère} et 2^{ème} transformation et coproduits céréaliers issus de l'agriculture conventionnelle et biologique, destinés à l'alimentation humaine et animale ou au non alimentaire

- Enquêtes collecteurs annuelles de FranceAgriMer/Arvalis sur céréales à paille et maïs : qualification annuelle des récoltes pour les toxines règlementées sur le territoire national et échantillothèque

Conclusion

Les céréales et leurs produits transformés peuvent occasionnellement contenir des mycotoxines

Les mycotoxines « natives » font l'objet d'une réglementation adaptée par secteur d'activité. Des démarches de gestion du risque ont été mises en place sur l'ensemble de la filière (démarche HACCP)

La possible prise en compte par la réglementation de certaines formes modifiées va nécessiter des données d'occurrence en provenance de l'ensemble des filières. A l'heure actuelle, il n'existe aucune méthode d'analyse normalisée prenant en compte l'ensemble de ces mycotoxines

Une mutualisation des moyens intra et inter filières concernées par la gestion des mycotoxines ne peut être qu'encouragée

Merci pour votre attention



Laboratoire FranceAgriMer
34, Rue Chef de Baie
17006 La Rochelle cedex
Tél : 05-46-42-85-85