

Mycotoxines dans les céréales et produits dérivés : revue de la littérature sur les filières biologiques et conventionnelles en Europe

Emmanuel K. Tangni¹
 Luc Pussemier¹
 Yves-Jacques Schneider²
 Yvan Larondelle³

¹ Centre d'étude et de recherches vétérinaires et agrochimiques (CODA CERVA)
 Leuvensesteenweg 17
 3080 Tervuren
 Belgique
 <emtan@coda-cerva.be>
 <lucpussemier@gmail.com>

² Université catholique de Louvain
 Institut des sciences de la vie
 Croix du Sud 4-5
 Bte L7-07.03
 1348 Louvain-la-Neuve
 Belgique
 <yjs@uclouvain.be>

³ Université catholique de Louvain
 Institut des sciences de la vie
 Croix du Sud 2
 Bte L7.05.08
 1348 Louvain-La-Neuve
 Belgique
 <yvan.larondelle@uclouvain.be>

Résumé

Les comparaisons des teneurs et fréquences de contaminations par des mycotoxines de *Fusarium* (déoxynivalénol [DON], nivalénol, HT-2 toxine, T-2 toxine, 3-acétyl-DON, zéaralénone, fumonisines) d'*Aspergillus* et de *Penicillium* (aflatoxines, ochratoxine A) dans les céréales et produits dérivés issus des filières biologiques (« bio ») et conventionnelles des pays européens donnent des résultats contrastés et ne dessinent pas une tendance nette en faveur des produits « bio » ou de leurs homologues conventionnels. Contrairement aux études antérieures, la plupart des études récentes conduisent à l'observation de différence non significative de contaminations entre ces deux types de produits. De plus, une variation significative des teneurs en mycotoxines entre les différentes productions (au cours de la même année de production) atténue l'intérêt de cette comparaison et nécessite alors l'utilisation de traitements statistiques plus robustes, ce qui n'est pas toujours le cas même dans les études publiées. Dès lors, les interprétations des résultats doivent être faites de façon critique. L'évaluation du degré d'exposition des consommateurs aux mycotoxines *via* les produits des filières « bio » et conventionnelles est menée dans la plupart des cas sur la base des valeurs obtenues pour des céréales brutes. En conséquence, les niveaux d'exposition sont surestimés, car on ne tient pas compte de la biotransformation et/ou de l'élimination d'une proportion non négligeable des mycotoxines au cours des processus de transformation des céréales en aliments. Cette évaluation ne permet pas non plus de dégager une tendance nette en faveur des produits « bio » ou conventionnels. Toutefois, il apparaît intéressant de suivre la situation dans les deux systèmes de production en raison de l'influence parfois importante de facteurs incontrôlables, mais aussi étant donné l'évolution des techniques de production et du professionnalisme des agriculteurs.

Mots clés : agriculture biologique ; *Aspergillus* ; céréale ; *Fusarium* ; mycotoxine ; *Penicillium* ; produit céréalier.

Thèmes : productions végétales ; qualité et sécurité des produits ; systèmes agraires.

Abstract

Mycotoxins in organic and conventional cereals and derived products from Europe: A review

Contrasted results are obtained when comparing contamination levels and frequencies of *Fusarium* mycotoxins (deoxynivalenol (DON), nivalenol, HT-2 toxin, T-2 toxin, 3-acetyl-DON, zearalenone, fumonisins) as well as *Aspergillus* and *Penicillium* mycotoxins (aflatoxins, ochratoxin A) in cereals and cereal-based products obtained using the organic and conventional route of production. Actually, there is no clear-cut trend in favour of organic cereals or in favour of their conventional counterparts. In contrast to older studies, most of the recent ones lead to the identification of slight differences between the two types of products. In addition, the high variation in mycotoxin content between the organic and conventional modes of production (even within the same year) makes comparison less obvious and calls for the use of quite powerful statistical tools, a call which

Pour citer cet article : Tangni EK, Pussemier L, Schneider YJ, Larondelle Y, 2013. Mycotoxines dans les céréales et produits dérivés : revue de la littérature sur les filières biologiques et conventionnelles en Europe. *Cah Agric* 22 : 152-64. doi : 10.1684/agr.2013.0623

Tirés à part : E.K. Tangni

is not always met in the published studies. Hence, the interpretation of results requires a critical approach. The mycotoxin exposure assessment for consumers of organic and conventional cereal-based products is mainly carried out using data gathered from raw cereals. As a consequence the exposure levels are overestimated because cereal processing is not taken into account. Here also it was not possible to identify a clear trend in favour of either organic or conventional foodstuffs. However, it seems interesting to monitor both production systems because uncontrolled factors can sometimes play an important role and because production techniques and farmers' skills have highly improved.

Key words: *Aspergillus*; cereals; cereal products; *Fusarium*; mycotoxins; organic farming; *Penicillium*.

Subjects: farming systems; food quality and security; vegetal productions.

Durant les deux dernières décennies, de nombreuses études ont été consacrées à la problématique des mycotoxines dans les produits alimentaires issus de l'agriculture biologique (« bio ») et/ou conventionnelle. Le sujet est controversé et de nombreuses prises de position apparaissent dans des publications dont le caractère objectif pourrait être mis en question. L'origine de cette controverse et du côté passionnel qui y est associé est sans doute attribuable au fait que les adeptes du « bio » mettent en exergue la meilleure qualité sanitaire de leurs produits en raison de l'absence de résidus de pesticides. De leur côté, certains défenseurs du « conventionnel » mettent en exergue les dangers des mycotoxines qui seraient davantage présentes dans les produits « bio », vu l'absence d'utilisation de fongicides et d'insecticides, susceptibles de protéger les cultures et leurs produits des attaques de moisissures, tant en cours de culture que lors du stockage des grains. Le sujet est également d'une grande complexité. L'agriculture biologique est certes définie dans le cadre du Règlement européen 2092/91, mais de nombreuses nuances existent sur le terrain et dans les études scientifiques consacrées à cette problématique. Ainsi, l'agriculture biodynamique en constitue une variante qui accorde une importance particulière aux systèmes agraires considérés comme des organismes vivants. Certains évoquent également l'agriculture écologique sans utilisation des pesticides, sans qu'il soit

bien établi si les critères de certification de l'agriculture biologique sont effectivement respectés. La filière « bio » présente certaines disparités suivant que l'on a affaire à des entreprises de proximité à caractère artisanal ou aux grandes firmes opérant à l'échelle internationale. Il en est de même en agriculture conventionnelle, avec des systèmes différents comme la protection intégrée des cultures (*integrated pest management* [IPM]) qui respecte les principes de la lutte intégrée, les systèmes dits intensifs (couverture chimique complète pour une production maximale) ou raisonnés (apports plus limités de produits phytosanitaires selon les indications de systèmes d'observation).

Une comparaison des systèmes de production « bio » et conventionnels, portant aussi bien sur les aspects nutritionnels que sanitaires, a été présentée dans quelques revues générales (Magkos *et al.*, 2006 ; Pussemier *et al.*, 2006a), ainsi que dans des études ou avis publiés par des agences alimentaires telles que l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses, ex-Afssa) en France (Afssa, 2003) et l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA) en Belgique. Considérant les qualités nutritionnelles des produits végétaux « bio » et conventionnels, peu de tendances tranchées peuvent être dégagées de ces différentes synthèses, en dehors du fait que la teneur en matière sèche et en composés phénoliques (phytoalexines, isoflavones, acide salicylique) est

un peu plus élevée en faveur des produits « bio ». En ce qui concerne plus particulièrement les céréales, les produits « bio » contiennent moins de protéines, ce qui les rend dès lors moins panifiables, mais ils présentent, en revanche, un meilleur équilibre en acides aminés essentiels.

Au nombre des dangers potentiels liés à la consommation des céréales, qu'elles soient issues des filières « bio » ou conventionnelles, certains mettent en avant la présence de mycotoxines. Au champ, diverses espèces de *Fusarium* sont capables de produire des substances toxiques telles que les trichothécènes (déoxynivalénol [DON], nivalénol [NIV], 3 acétyl-DON [Ac-DON], T-2 toxine, HT-2 toxine...), les fumonisines (FB1, FB2 et FB3), la zéaralénone (ZEA), alors que diverses souches d'*Aspergillus* et/ou de *Penicillium* capables de coloniser les denrées au cours de leur conservation peuvent produire les aflatoxines (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2), l'ochratoxine A (OTA), la citrinine (CIT) ou l'acide pénicillinique (PEA).

Les résultats qui découlent des premières études sur les teneurs en mycotoxines des céréales « bio » et conventionnelles sont parfois contradictoires, ainsi que le soulignent Tamm et Thürig (2002) dans un article de l'Institut suisse pour la recherche en agriculture biologique (FiBL). Toutefois, ils estiment que les deux systèmes de production sont vulnérables en proportions comparables. En effet, l'absence de traitements à l'aide de fongicides de synthèse caractérisant le

« bio » est compensée par des techniques culturales permettant de mieux renforcer la résistance des plantes (type de rotations, travail du sol, apports azotés limités, résistance variétale). Par ailleurs, l'utilisation de pesticides dans les cultures conventionnelles n'est pas toujours en mesure de réduire la teneur en mycotoxines de façon importante.

Pour tenter d'y voir un peu plus clair, une étude comparative a été réalisée en Belgique au début des années 2000 par Larondelle *et al.* (2005). Cette étude portait spécifiquement sur les céréales et certains produits dérivés, à savoir les céréales du petit-déjeuner, les pâtes, les farines de blé, la polenta, les pétales de maïs et la bière, résultant des modes de production « bio » ou conventionnels. Les principales tendances dégagées de cette étude sont reprises dans le *tableau 1*. Il en ressort que les contaminations en mycotoxines des produits « bio » et conventionnels au milieu des années 2000 demeurent contrastées et il apparaît nécessaire de suivre la situation dans les deux systèmes de

production, d'autant plus que les techniques et le professionnalisme des agriculteurs évoluent, ce qui peut se traduire dans l'une et l'autre filière par d'importantes modifications qui peuvent influencer les risques de contamination par les mycotoxines. C'est pourquoi une revue des publications récentes portant sur la détermination de mycotoxines dans les céréales et leurs produits dérivés provenant des filières « bio » ou conventionnelles a été réalisée et est exposée en détail dans la suite de ce chapitre. Il s'agit d'études réalisées dans divers pays européens et portant soit sur des céréales brutes telles que le blé, l'orge, le seigle ou l'avoine, soit sur des produits dérivés tels que les pains, farines, pâtisseries, semoules, bière. En outre, comme la filière biologique englobe non seulement les produits végétaux mais aussi des produits dérivés d'animaux eux-mêmes nourris avec des aliments « bio », ceux-ci ont été intégrés dans cette revue. Il s'agit du lait et de la viande, dérivés des céréales mais situés en bout de chaîne alimentaire.

Études de cas européennes sur la contamination par les mycotoxines dans les céréales brutes et produits dérivés

Les *tableaux 2* et *3* présentent une revue des études publiées en Europe dans les années 2000, portant sur la contamination des céréales brutes et produits dérivés par les mycotoxines. Il est à noter que les nombreux pays européens représentés sont situés en Europe du Sud (Espagne, Portugal, Italie), en Europe occidentale (Allemagne, Belgique, France, Pays-Bas, Suisse), mais également en Europe orientale (Lituanie, Pologne). Dans certains cas, bien que la date de publication soit postérieure à 2000, les années d'expérimentation

Tableau 1. Contamination en mycotoxines des céréales et produits céréaliers issus des filières « bio » et conventionnelles en Belgique pendant la période 2002-2004.

Table 1. Mycotoxin contamination of cereals and cereal products from "organic" and conventional routes of production in Belgium during the period 2002-2004.

Mycotoxines	Blé (à la récolte)	Farines de blé complètes	Bière	Pâtes complètes	Pétales de maïs	Polenta	Maïs doux
OTA	§ BIO > CONV	PC BIO > CONV	PC BIO > CONV	-	-	-	-
FB1	-	-	§ BIO = CONV	-	PA BIO > CONV	PC BIO < CONV	§ BIO = CONV
FB2	-	-	§ BIO = CONV	-	PA BIO > CONV	PC BIO < CONV	§ BIO = CONV
FB3	-	-	-	-	PA BIO = CONV	-	-
DON	PC BIO < CONV	PC BIO < CONV	§ BIO = CONV	PA ?	-	-	-
ZEA	PC BIO < CONV	-	-	-	-	-	-

PC : la denrée présente un « point critique » de contamination par la toxine en question (probabilité élevée d'atteindre un niveau de contamination pertinent d'un point de vue toxicologique ou réglementaire) ; PA : la denrée présente un « point d'attention » de contamination par la toxine en question (probabilité modérée d'atteindre un niveau de contamination pertinent d'un point de vue toxicologique ou réglementaire) ; § : les concentrations retrouvées sont très faibles dans les deux systèmes de production (probabilité faible d'atteindre un niveau de contamination pertinent d'un point de vue toxicologique ou réglementaire) ; BIO > CONV : les produits bio sont plus contaminés que les produits conventionnels en fréquence de détection et/ou concentrations mesurées ; BIO < CONV : les produits bio sont moins contaminés que les produits conventionnels en fréquence de détection et/ou concentrations mesurées ; BIO = CONV : on ne peut établir une différence significative de contamination entre les produits bio et conventionnels sur base des fréquences de détection et/ou des niveaux de concentrations mesurées. Les analyses de variance ont été réalisées au moyen de la procédure GLM du logiciel SAS (SAS Institute Inc., Cary, États-Unis, version 3.0.0.369).

Tableau 2. Revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la contamination en mycotoxines des céréales brutes.

Table 2. Review of the studies published in Europe at around 2000 on raw cereal mycotoxin contamination.

Nature du produit	Lieu de production	Systèmes de cultures comparés ^a	Années d'étude	Échantillonnage ^b	Mycotoxines détectées	Indicateur fongique ^c	Exposition du consommateur ^d	Références
Blé	Suisse	COMPLEXE	1998-1999	-	DON, NIV, HT-2	Non	Non	Griesshaber <i>et al.</i> (2004)
Blé	Pologne	COMPLEXE	2003	-	DON, NIV, HT-2, 3 Ac-DON	Oui	Non	Perkowski <i>et al.</i> (2007)
Blé	Lituanie	CONV/BIO	2003	+	DON, ZEA, T-2, AFLA, OTA	Oui	Non	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Orge	Lituanie	CONV/BIO	2003	+	DON, ZEA, T-2, AFLA, OTA	Oui	Non	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Avoine	Finlande	CONV/BIO	1997-1998	+	DON	Non	Non	Hietaniemi <i>et al.</i> (2004)
Blé	France	COMPLEXE	1999-2002	-	DON, NIV, ZEA	Oui	Non	Champeil <i>et al.</i> (2004)
Blé	Pologne	CONV/BIO	1997-1998	+	OTA	Oui	Non	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002a, 2002b)
Orge	Pologne	CONV/BIO	1997-1998	+	OTA	Oui	Non	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002a, 2002b)
Seigle	Pologne	CONV/BIO	1997-1998	+	OTA	Oui	Non	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002a, 2002b)
Blé	Suisse	COMPLEXE	1998-2000	-	DON, NIV	Non	Non	Mäder <i>et al.</i> (2007)
Blé	Italie	CONV/BIO	Non précisé	+	OTA, DON	Oui	Non	Rossi <i>et al.</i> (2006)
Blé	Belgique	CONV/BIO	2002-2003	+	DON, ZEA, OTA	Non	Non	Pussemier <i>et al.</i> (2006b)
Blé	Belgique	CONV/BIO	2002-2005	+	DON, ZEA	Non	Oui (P)	Harcz <i>et al.</i> (2007a)
Blé	France	CONV/BIO	1999	+	DON, NIV, 3 Ac-DON, HT-2, ZEA	Non	Non	Malmauret <i>et al.</i> (2002)
Sarrasin	France	CONV/BIO	1999	-	DON, NIV, 3 Ac-DON, HT-2, ZEA	Non	Non	Malmauret <i>et al.</i> (2002)
Orge	France	CONV/BIO	1999	-	DON, NIV, 3 Ac-DON, HT-2, ZEA	Non	Non	Malmauret <i>et al.</i> (2002)
Blé	Pays-Bas	CONV/BIO	2003-2004	+	DON, ZEA	Non	Non	Hoogenboom <i>et al.</i> (2008)
Mais	Espagne	CONV/BIO	2001-2003	+	FB1, FB2	Non	Non	Ariño <i>et al.</i> (2007)
Blé	France	CONV/BIO	2000	+	DON	Non	Oui (D)	Leblanc <i>et al.</i> (2002)
Blé	Allemagne	CONV/BIO	1999-2001	-	DON, ZEA	Oui	Non	Schneweis <i>et al.</i> (2005)

DON : déoxynivalénol ; NIV : nivalénol ; 3 Ac-DON : 3 acétyl-déoxynivalénol ; ZEA : zéaralénone ; OTA : ochratoxine A ; FB1, FB2 et FB3 : fumonisines B1, B2 et B3 ; AFLA : aflatoxines ; HT2 : toxine HT2 ; T2 : toxine T2.

^a CONV/BIO : uniquement par comparaison entre mode conventionnel (CONV) ou biologique (BIO) ; COMPLEXE : outre les modes de production CONV et BIO, étude d'autres systèmes de production (ex., utilisation de certains fongicides particuliers, différents niveaux de fertilisation azotée, système biodynamique, etc.).

^b Échantillonnage : - : généralement moins de dix échantillons par objet étudié ; + : généralement plus de dix échantillons par objet étudié.

^c Indicateur fongique : - : biomasse totale, teneur en ergostérol, pourcentage de grains contaminés par souches mycotoxinogènes, indice de sévérité de la maladie, etc.

^d L'estimation de l'exposition du consommateur est calculée à partir du produit de la concentration en mycotoxine détectée par la quantité de denrée ingérée suivant une approche déterministe (D) ou probabiliste (P).

Tableau 3. Revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la contamination en mycotoxines des produits dérivés de céréales.

Table 3. Review of the studies published in Europe in the years 2000 on the mycotoxin contamination in cereal-based products.

Nature du produit	Lieu de distribution	Systèmes de cultures comparés ^a	Années d'étude	Échantillonnage ^b	Mycotoxines détectées	Lien avec processus appliqué	Exposition du consommateur ^d	Références
Farine de blé	Belgique	CONV/BIO	2002-2003	+	DON, OTA	Non	Non	Pussemier <i>et al.</i> (2006b)
Farines diverses	Espagne et Portugal	CONV/BIO	2005	-	OTA	Oui	Non	Juan <i>et al.</i> (2008)
Blé	Allemagne	BIO ^c	1997-1998	+	DON, OTA	Oui	Non	Birzele <i>et al.</i> (2000)
Farines et pâtisseries	Italie	COMPLEXE	2001-2002	+	OTA	Oui	Oui (D)	Biffi <i>et al.</i> (2004)
Pain	Allemagne	CONV/BIO	1999	+	DON, NIV, 3 Ac-DON, HT-2, T-2	Oui	Non	Schollenberger <i>et al.</i> (2005)
Bière	Belgique	CONV/BIO	2003-2004	+	DON, OTA	Oui	Oui (D)	Anselme <i>et al.</i> (2006)
Bière	Belgique	CONV/BIO	2003-2005	+	DON, OTA	Non	Oui (P)	Harcz <i>et al.</i> (2007b)
Produits céréaliers	Finlande et Italie	CONV/BIO	2002	-	Toxines de <i>Fusarium</i> + AFLA	Oui	Non	Jestoi <i>et al.</i> (2004)
Dérivés du riz	Espagne	COMPLEXE	Non précisé	+	OTA	Oui	Oui (D)	Gonzalez <i>et al.</i> (2006)
Lait	Italie	CONV/BIO	2001-2002	+	AFM1	Non	Non	Ghidini <i>et al.</i> (2005)
Viande	Italie	CONV/BIO	2001-2002	-	AFM1	Non	Non	Ghidini <i>et al.</i> (2005)
Tissus animaux	Allemagne	CONV/BIO	1999-2001	-	DON, ZEA	Oui	Non	Schneweis <i>et al.</i> (2005)
Farine de blé dur (semolina)	Espagne	CONV/BIO	2007	-	DON, OTA, AFB1	Non	Non	Herrera <i>et al.</i> (2009)

DON : déoxynivaléol ; NIV : nivaléol ; 3 Ac-DON : 3 acétyl-déoxynivaléol ; ZEA : zéaralénone ; OTA : ochratoxine A ; FB1, FB2 et FB3 : fumonisines B1, B2, B3 ; AFB1 : aflatoxine B1 ; AFM1 : aflatoxine M1 ; HT2 : toxine HT2 ; T2 : toxine T2.

^a CONV/BIO : uniquement par comparaison entre mode conventionnel (CONV) ou biologique (BIO) ; COMPLEXE : outre les modes de production CONV et BIO, étude d'autres systèmes de production (ex., utilisation de certains fongicides particuliers, différents niveaux de fertilisation azotée, système biodynamique, etc.).

^b Échantillonnage : - : généralement moins de dix échantillons par objet étudié ; + : généralement plus de dix échantillons par objet étudié.

^c La comparaison porte sur les céréales avant et après stockage (mode « bio » exclusivement).

^d L'estimation de l'exposition du consommateur est calculée à partir du produit de la concentration en mycotoxine détectée par la quantité de denrée ingérée suivant une approche déterministe (D) ou probabiliste (P).

remontent à la fin des années 1990. Notons aussi que les études mentionnées pour la Belgique reprennent les résultats de l'étude de Larondelle *et al.* (2005) déjà discutée dans la section précédente, soit tels quels (Pussemier

et al., 2006b), soit après les avoir complétés par des données expérimentales plus récentes (Anselme *et al.*, 2006 ; Harcz *et al.*, 2007a, 2007b). Les études réalisées en Suisse (Griesshaber *et al.*, 2004 ; Mäder

et al., 2007), Pologne (Perkowski *et al.*, 2007) et en France (Champeil *et al.*, 2004) permettent la comparaison des modes « bio » et conventionnel bien que le schéma expérimental soit plus complexe et qu'il comporte,

en plus de l'objet « bio », plusieurs variantes du système conventionnel (plusieurs niveaux de protection phytosanitaire par les fongicides). Par ailleurs, dans certains cas, le nombre d'échantillons analysés reste assez faible, ce qui ne permet pas de réaliser une étude statistique appropriée. Les mycotoxines recherchées dépendent des céréales. Les trichothécènes et autres toxines de *Fusarium* sont généralement recherchées dans le blé, l'orge, le seigle et l'avoine. L'OTA est recherchée dans toutes les denrées, même parfois dans des céréales brutes n'ayant pas encore été entreposées. ZEA et AFLA sont recherchées dans diverses céréales, mais aussi dans des produits animaux comme le lait, pour ce qui concerne l'aflatoxine M1. Dans environ la moitié des cas, un lien a été recherché avec un indicateur de présence de moisissures, que ce soit un indicateur global de biomasse fongique ou un indicateur plus spécifique de la présence de souches mycotoxinogènes comme les *Fusarium*. Enfin, dans certains cas, des estimations de l'exposition du consommateur ont été réalisées. Celles-ci sont obtenues en calculant l'ingestion, en multipliant la concentration en mycotoxine dans la denrée par la quantité de denrée ingérée. Cette estimation peut se réaliser sur la base d'estimations grossières (généralement approche déterministe) ou à l'aide de méthodes plus sophistiquées nécessitant des bases de données étoffées, telles que l'approche probabiliste (Harcz *et al.*, 2007b). Notons que les estimations réalisées sur des données concernant les céréales brutes demeurent très grossières quelle que soit l'approche méthodologique adoptée, étant donné que les processus de traitement des céréales n'ont pas été pris en compte.

En ce qui concerne plus spécifiquement les produits dérivés des céréales, il convient d'observer que :

- le nombre d'études est plus réduit ;
- le type de denrées analysées est très varié ;
- des informations peuvent être collectées en relation avec un processus de transformation donné (céréales complètes ou raffinées, par exemple) ;
- une estimation de l'exposition du consommateur aux mycotoxines est plus systématiquement réalisée que dans le cas des études concernant les céréales brutes.

Pour le reste, les remarques déjà émises dans le cas des céréales brutes sur le mode de production, l'échantillonnage et la nature des mycotoxines recherchées restent valables pour les produits dérivés des céréales.

Contamination en mycotoxines majeures des produits céréaliers issus des filières « bio » et conventionnelles

La comparaison des différences de contamination des céréales et des produits dérivés par les mycotoxines porte sur les fréquences de contamination et les niveaux de concentrations observés dans l'un ou l'autre mode de production de céréales. Tenant compte des deux types de paramètres analysés (fréquence et/ou concentration), l'interprétation des résultats doit être réalisée de façon critique en utilisant des outils statistiques appropriés, ce qui n'est pas toujours le cas. Cela ne facilite pas les comparaisons entre études. En outre, il est important de noter que ces comparaisons sont réalisées à la lumière des seules concentrations sans qu'il soit tenu compte de la pertinence de ces concentrations d'un point de vue toxicologique ou réglementaire (dépassement ou non d'une norme). De ce fait, la pertinence des conclusions obtenues pour le producteur ou le consommateur est assez limitée.

Les *tableaux 4* et *5* présentent une revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la contamination en DON et ZEA dans des produits céréaliers issus des filières « bio » et conventionnelles. Ces deux mycotoxines majeures peuvent contaminer les céréales au champ suite à leur attaque par des souches de *Fusarium* dans les conditions prévalant en Europe.

Du *tableau 4*, il ressort que certaines études font apparaître le système « bio » comme étant plus contaminé en DON (Malmauret *et al.*, 2002) alors que pour d'autres (Griesshaber *et al.*, 2004 ; Rossi *et al.*, 2006), c'est plutôt le système conventionnel qui donne des céréales

plus contaminées. Notons qu'une majorité des études conduisent au constat qu'il n'existe que peu de différences entre ces deux systèmes ou que, si des tendances existent, elles ne sont pas souvent statistiquement significatives. Plusieurs études épinglent les facteurs qui seraient susceptibles d'influencer la contamination en mycotoxines des produits de ces deux filières (Tamm et Thürig, 2002 ; Champeil *et al.*, 2004 ; Chandelier *et al.*, 2004). Ainsi, en faveur du mode conventionnel, on notera la protection fongicide en soulignant bien que celle-ci a ses limites (environ 50 % de réduction de contamination en moyenne) et que tous les fongicides ne sont pas équivalents (triazoles préférables aux strobilurines, par exemple). En revanche, pour la filière « bio », l'utilisation de variétés plus résistantes aux maladies cryptogamiques, le respect d'une rotation visant à éviter la culture de graminées sur deux années successives et le rejet de la technique de non-labour sont des facteurs déterminants permettant de limiter la contamination en mycotoxines de *Fusarium*, telles que le DON et la ZEA. Force est de constater que le facteur climatique est régulièrement avancé comme un des plus importants pour expliquer la variabilité des niveaux de contamination d'une année à l'autre et, qu'au sein d'une même année, c'est la pratique du non-labour associée à des assolements privilégiant la culture du blé, du maïs et de l'orge qui sont des facteurs déterminants pour expliquer la grande variabilité des niveaux de contamination. Enfin, il est à remarquer qu'il n'y a pas de contradictions entre les tendances observées pour les céréales brutes et les produits qui en sont dérivés. Ainsi, pour la bière, les teneurs en DON ont tendance à être plus élevées en mode conventionnel qu'en « bio ».

En ce qui concerne la ZEA (*tableau 5*), moins d'études sont disponibles que dans le cas du DON. Toutefois, il semble que les tendances observées pour le DON soient également retrouvées pour la ZEA (avec un léger avantage pour les produits « bio », mais les différences sont généralement faibles et ne résistent pas à l'analyse statistique). Du reste, certaines études ont pu montrer que la présence de ZEA était corrélée à celle du DON (Pussemier *et al.*, 2006b), certaines souches de *Fusarium graminearum* étant productrices des deux mycotoxines.

Tableau 4. Revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la contamination en déoxynivalénol (DON) dans des produits céréaliers des filières « bio » (BIO) et conventionnelles (CONV).

Table 4. Review of the studies published in Europe at around 2000 on contamination of cereal products of the organic (BIO) and conventional (CONV) branches by deoxynivalenol (DON).

Céréale ou produit dérivé	Pays de production (P) ou de distribution (D)	Année	Conclusions émises dans les publications sur le système de production le plus contaminé	Références
Blé	Suisse (P)	1998-1999	CONV (teneurs légèrement plus élevées qu'en BIO)	Griesshaber <i>et al.</i> (2004)
Blé	Pologne (P)	2003	BIO (teneurs comparables ou supérieures suivant le niveau de protection fongicide appliquée en CONV)	Perkowski <i>et al.</i> (2007)
Blé	Lituanie (P)	2003	Peu de différences	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Orge	Lituanie (P)	2003	Peu de différences	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Avoine	Finlande (P)	1997-1998	Peu de différences	Hietaniemi <i>et al.</i> (2004)
Blé	France (P)	1999-2002	Peu de différences	Champeil <i>et al.</i> (2004)
Blé	Suisse (P)	1998-2000	Peu de différences	Mäder <i>et al.</i> (2007)
Blé	Italie (P)	-	CONV (teneurs et fréquences plus élevées qu'en BIO)	Rossi <i>et al.</i> (2006)
Blé	Belgique (P)	2002-2003	CONV (mais différences avec BIO non significatives)	Pussemier <i>et al.</i> (2006b)
Blé	Belgique (P)	2002-2005	CONV (mais différences avec BIO non significatives)	Harcz <i>et al.</i> (2007a)
Blé	Pays-Bas (P)	2003-2004	Pas de différences significatives entre CONV et BIO	Hoogenboom <i>et al.</i> (2008)
Blé	France (P)	1999	BIO	Malmauret <i>et al.</i> (2002)
Orge	France (P)	1999	BIO	Malmauret <i>et al.</i> (2002)
Dérivés de céréales	Finlande (D) et Italie (D)	2002	Peu de différences	Jestoi <i>et al.</i> (2004)
Pains	Allemagne (D)	1999	CONV (mais différences avec BIO non significatives)	Schollenberger <i>et al.</i> (2005)
Bière	Belgique (D)	2003-2004	CONV (mais différences avec BIO non significatives)	Anselme <i>et al.</i> (2006)
Bière	Belgique (D)	2003-2005	CONV (mais différences avec BIO non significatives)	Harcz <i>et al.</i> (2007b)
Aliments pour porcs (grains et paille de blé)	Allemagne (P)	1999-2001	CONV (tant en fréquence de contamination qu'en teneurs)	Schneweis <i>et al.</i> (2005)
Foie et chair de porc	Allemagne (P)	1999-2001	Pas de différences mais teneurs très faibles	Schneweis <i>et al.</i> (2005)
Farine de blé dur (semolina)	Espagne (P)	2007	BIO (mais différences avec CONV non significatives)	Herrera <i>et al.</i> (2009)

Tableau 5. Revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la contamination en zéaralène (ZEA) dans des produits céréaliers des filières « bio » (BIO) et conventionnelles (CONV).

Table 5. Review of the studies published in Europe at around 2000 on contamination of cereal products of the organic (BIO) and conventional (CONV) branches by zearalenon (ZEA).

Céréale ou produit dérivé	Pays de production (P) ou de distribution (D)	Année	Conclusions émises dans les publications sur le système de production le plus contaminé	Références
Blé	Lituanie (P)	2003	Peu de différences	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Orge	Lituanie (P)	2003	Peu de différences	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Blé	France (P)	1999-2002	Peu de différences	Champeil <i>et al.</i> (2004)
Blé	Belgique (P)	2002-2003	CONV (mais différences avec BIO non significatives)	Pussemier <i>et al.</i> (2006b)
Blé	Belgique (P)	2002-2005	CONV (mais différences avec BIO non significatives)	Harcz <i>et al.</i> (2007a)
Blé	Pays-Bas (P)	2003-2004	Pas de différences significatives entre CONV et BIO	Hoogenboom <i>et al.</i> (2008)
Aliments pour porcs (grains et paille de blé)	Allemagne (P)	1999-2001	CONV (tant en fréquence de contamination qu'en teneurs)	Schneweis <i>et al.</i> (2005)
Foie et chair de porc	Allemagne (P)	1999-2001	CONV présente des teneurs plus élevées en métabolites (significatif dans 1 essai sur 8)	Schneweis <i>et al.</i> (2005)

Le *tableau 6* présente une revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la contamination en OTA dans des produits céréaliers issus des filières « bio » et conventionnelles. Ici, l'ensemble des études indique que les produits « bio » paraissent être un peu, voire nettement, plus contaminés que leurs homologues conventionnels. Même pour les céréales fraîchement récoltées, l'OTA semble déjà plus présente dans les produits issus du mode de production « bio » mais les teneurs restent faibles (Rossi *et al.*, 2006 ; Pussemier *et al.*, 2006b). Des études plus anciennes réalisées au Danemark révélaient que la contamination des céréales et produits dérivés « bio » présentait de sérieux problèmes pour les consommateurs de produits « bio » (Berg *et al.*, 1995). Il semble que, si de nos jours, une différence est toujours décelable, le problème soit nettement moins aigu en raison, sans doute, de la prise de conscience de cette contamination dans le secteur « bio » et de

l'adoption de règles plus strictes en ce qui concerne les conditions de conservation de céréales (absence de sources d'humidité, nettoyage rigoureux des aires de stockage et élimination des sources d'inoculum comme souligné par Tangni et Pussemier (2006, 2007).

Relation entre la présence de moisissures et la contamination des produits céréaliers par les mycotoxines

Les mycotoxines étant produites par certaines souches de moisissures appartenant à diverses espèces, il est

logique de tenter d'établir un lien entre la présence de mycotoxines et certains indicateurs de présence de moisissures. Le *tableau 7* présente les études publiées en Europe dans les années 2000 et prenant cette question en considération. Ce tableau montre qu'en matière de comparaison entre modes de production « bio » et conventionnel, les indicateurs mesurés sont de nature variée et appréhendent des réalités différentes. Ainsi, la présence de la biomasse totale est fort utilisée. Cette biomasse peut concerner par exemple le nombre d'unités formant des colonies (UFC) par gramme de grains ou la teneur en ergostérol, constituant spécifique des membranes cellulaires des moisissures. Il existe aussi des indicateurs plus spécifiquement liés à la présence de souches potentiellement mycotoxigènes comme par exemple, le pourcentage de souches isolées appartenant aux genres *Fusarium*, *Aspergillus*, *Alternaria* ou *Penicillium*

Tableau 6. Revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la contamination en ochratoxine A (OTA) dans des produits céréaliers des filières « bio » (BIO) et conventionnelles (CONV).

Table 6. Review of the studies published in Europe at around 2000 on contamination of cereal products of the organic (BIO) and conventional (CONV) branches by Ochratoxin A (OTA).

Céréale ou produit dérivé	Pays de production (P) ou de distribution (D)	Année	Conclusions émises dans les publications sur le système de production le plus contaminé	Références
Blé	Lituanie (P)	2003	Peu de différences	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Blé	Pologne (P)	1997	BIO (teneurs plus élevées qu'en CONV)	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002a)
Orge	Pologne (P)	1997	BIO (teneurs plus élevées qu'en CONV)	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002a)
Seigle	Pologne (P)	1997	BIO (fréquence de contamination 6 fois plus élevée qu'en CONV)	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002a)
Blé	Pologne (P)	1998	CONV (dispersion des teneurs beaucoup plus large qu'en BIO)	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002b)
Orge	Pologne (P)	1998	BIO (teneurs plus élevées, mais fréquence de contamination comparable au CONV)	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002b)
Seigle	Pologne (P)	1998	BIO (teneurs plus élevées, mais fréquence de contamination comparable au CONV)	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002b)
Blé	Italie (P)	Non précisé	Peu de différences (teneurs faibles mais pas encore de stockage réalisé)	Rossi <i>et al.</i> (2006)
Blé	Belgique (P)	2002	BIO (fréquences de contamination plus élevées qu'en CONV mais teneurs faibles dans les deux cas)	Pussemier <i>et al.</i> (2006b)
Céréales diverses	Espagne (D) et Portugal (D)	2005	BIO (tant en fréquence de contamination qu'en teneurs)	Juan <i>et al.</i> (2008)
Farines et produits de pâtisserie	Italie (D)	2001-2002	BIO (mais seulement pour certaines catégories de produits et teneurs faibles)	Biffi <i>et al.</i> (2004)
Bière	Belgique (D)	2003-2004	BIO (différences avec CONV sont significatives)	Anselme <i>et al.</i> (2006)
Bière	Belgique (D)	2003-2005	BIO (différences avec CONV sont significatives)	Harcz <i>et al.</i> (2007b)
Riz et dérivés	Espagne (D)	Non précisé	CONV présente des teneurs plus élevées (mais la fréquence de contamination est plus élevée en BIO)	Gonzalez <i>et al.</i> (2006)
Farine de blé dur (semolina)	Espagne (P)	2007	BIO (mais différences avec CONV non significatives)	Herrera <i>et al.</i> (2009)

Tableau 7. Revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur la relation entre la présence de moisissures et les niveaux de contamination par les mycotoxines dans des produits céréaliers des filières « bio » (BIO) et conventionnelles (CONV).

Table 7. Review of the studies published in Europe at around 2000 on the relationships between the presence of mould and levels of contamination of cereal products of the organic (BIO) and conventional (CONV) branches by mycotoxins.

Céréales	Mycotoxines	Indicateurs de biomasse	Indicateur de pathogènes et/ou mycotoxinogènes mesuré	Résultat observé dans les publications	Références
Blé	Trichothécènes	Ergostérol, ATP	Taux de germination et de colonisation des grains par <i>Fusarium</i> après incubation	Pas de lien robuste entre niveaux de mycotoxines et indicateurs	Perkowski <i>et al.</i> (2007)
Blé	Trichothécènes, ZEA, AFLA, OTA	UFC/g	% de contamination par genres principaux de mycotoxinogènes	UFC plus important en BIO et % de <i>Fusarium</i> plus important en CONV ; pas de lien avec les mycotoxines	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Orge	Trichothécènes, ZEA, AFLA, OTA	UFC/g	% de contamination par genres principaux de mycotoxinogènes	UFC plus important en CONV et pas de différences significatives entre % de <i>Fusarium</i> pour les 2 systèmes	Bakutis <i>et al.</i> (2006)
Blé	DON, NIV, ZEA	-	Indice de sévérité de la fusariose	Pas de lien avec les teneurs en mycotoxines	Champeil <i>et al.</i> (2004)
Blé, orge et seigle	OTA	-	% de souches mycotoxinogènes de <i>Penicillium</i> et <i>Aspergillus</i> dans les échantillons contaminés	Souches de <i>Penicillium</i> : 93 % en 1997 et 71 % en 1998 ; souches d' <i>Aspergillus</i> : 7 % en 1997 et 28 % en 1998	Czerwiecki <i>et al.</i> (2002a, 2002b)
Blé	OTA, DON	Ergostérol	-	Pas de différences significatives en ergostérol entre CONV et BIO alors que davantage de DON dans CONV	Rossi <i>et al.</i> (2006)
Blé (grains et paille)	DON, ZEA	Moisissures dominantes (UFC/g)	<i>Fusarium</i> (UFC/g)	Moisissures dominantes : pas de différences significatives entre CONV et BIO ; <i>Fusarium</i> : 15/16 CONV contaminés pour 10/16 en BIO ; CONV présente des teneurs plus élevées en mycotoxines	Schneweis <i>et al.</i> (2005)

AFLA : aflatoxines ; DON : déoxynivalénol ; NIV : nivalénol ; ZEA : zéaralénone ; OTA : ochratoxine A ; UFC : unités formant des colonies ; ATP : adénosine TriPhosphate.

(Czerwiecki *et al.*, 2002a, 2002b). Enfin, il existe aussi des études qui tentent d'établir un lien entre la présence de mycotoxines et la sévérité de la maladie associée à l'espèce mycotoxinogène (Champeil *et al.*,

2004). Pour l'instant, il n'est pas aisé de dégager des tendances quelle que soit la nature de l'indicateur utilisé. Cela est sans doute à mettre en relation avec le fait que seules certaines espèces, voire certaines souches, sont

productrices de mycotoxines et que celles-ci peuvent être présentes et changer de façon indépendante de l'évolution des espèces responsables des maladies cryptogamiques (fusarioses), ou du genre auquel appartient

la souche mycotoxinogène et, *a fortiori*, de la population fongique dans son ensemble. Du reste, il est bien connu que des denrées peuvent être contaminées par des mycotoxines sans que la présence de moisissures productrices de la toxine soit mise en évidence et, donc, il est probable que la recherche de relations avec la présence de souches mycotoxinogènes ne conduise à une impasse, même lorsqu'on a recours à des techniques de biologie moléculaire très spécifiques et sensibles telles que la réaction en chaîne par polymérase (*polymerase chain reaction* [PCR]). En revanche, pour les céréales stockées, une étude menée en conditions de laboratoire a pu dégager certaines relations entre la présence d'OTA, d'une part, et la présence de CIT ainsi que la teneur en ergostérol, d'autre part (Tangni et Pussemier, 2006).

Estimation de l'exposition aux mycotoxines des consommateurs de produits céréaliers « bio » et conventionnels

Le *tableau 8* présente quelques études basées sur la détermination des teneurs en mycotoxines dans les céréales brutes ou produits céréaliers dérivés, issus des modes de production « bio » et conventionnels, afin d'estimer les niveaux d'exposition des consommateurs à ces mycotoxines. Il en ressort que les études menées sur les céréales brutes conduisent à des niveaux d'exposition qui sont élevés en valeurs absolues, du fait que certains processus de transformation des céréales en aliments contribuent à éliminer une proportion non négligeable de mycotoxines. On constate qu'il existe une contradiction dans les tendances attendues puisque le « bio » conduirait, d'après Harcz *et al.* (2007a), à une exposition du consommateur moins élevée que le conventionnel alors que, d'après l'étude publiée par Leblanc *et al.* (2002), c'est le contraire qui est

observé. En revanche, les études réalisées sur les produits céréaliers dérivés indiquent que l'exposition des consommateurs aux mycotoxines ne semble pas affectée par le mode de production (« bio » ou conventionnel), sauf dans le cas de la consommation de bière qui serait une source d'exposition à l'OTA plus importante dans le cas des productions « bio » (Anselme *et al.*, 2006). Notons à ce sujet qu'il est fait état d'une tendance à la diminution du niveau de contamination par l'OTA des bières « bio » à partir de 2005, résultat probable des efforts de conscientisation des opérateurs actifs dans le secteur en matière de prévention de la contamination des céréales lors du stockage et/ou du maltage.

Enfin, bien qu'il n'y ait pas eu d'étude spécifique sur l'exposition des consommateurs, il serait intéressant d'analyser plus en détail le problème survenu en Italie concernant la contamination des laits des filières « bio » et conventionnelles par l'AFM1, métabolite de l'aflatoxine B1 (Ghidini *et al.*, 2005). Il semblerait que l'origine de cette contamination soit à rechercher dans le maïs utilisé en fourrage pour les vaches laitières. Cette observation peut être mise en relation avec le fait que dans certaines régions d'Italie du Nord, des souches productrices d'aflatoxines et de certaines mycotoxines associées ont été mises en évidence en 2003, sans doute en raison de l'été particulièrement chaud de cette année-là, ce qui aurait permis l'acclimatation de souches mycotoxinogènes normalement absentes dans ces régions (Piva *et al.*, 2006). Ces observations doivent inciter la recherche à davantage de vigilance car les changements climatiques récents pourraient conduire à de nouveaux problèmes associés aux mycotoxines et, en particulier, aux aflatoxines pour lesquelles, malgré les législations très restrictives qui sont en application, la distance entre l'exposition et le seuil toxicologique reste particulièrement tenue.

Conclusions et mise en perspective

La plupart des études publiées en Europe dans les années 2000 montrent des différences non significatives entre

les filières de production « bio » et conventionnelles ou à des différences difficilement interprétables. Même si historiquement, des problèmes notables ont pu être détectés suite à des contaminations par l'OTA dans les produits céréaliers (y compris la bière), force est de constater que ces différences sont peu significatives, du fait du professionnalisme croissant et de la formation continue des opérateurs. Dans le cas des toxines de *Fusarium*, et en première analyse, les produits conventionnels sont avantagés en raison de la protection des céréales contre les maladies cryptogamiques à l'aide de fongicides de synthèse. Mais il semble que les produits « bio » soient également avantagés en raison de certaines pratiques très efficaces pour réduire les contaminations, telles que les rotations, la diversification des cultures, l'usage de variétés plus résistantes et la pratique du labour. Néanmoins, il est bon d'être également attentif à d'autres toxines de *Fusarium* comme T-2 et HT-2, la moniliformine, les enniatines et la beauvéricine, sans oublier les fumonisines dans le cas du maïs et de ses produits dérivés, ainsi que les alcaloïdes de l'ergot pour lesquels on manque d'informations précises quant au risque qu'ils présentent pour la contamination des céréales « bio ». Concernant les mycotoxines de stockage telles que l'OTA, les produits céréaliers « bio » sont plus affectés (Czerwiecki *et al.*, 2002a, 2002b ; Larondelle *et al.*, 2005 ; Harcz *et al.*, 2007b ; Herrera *et al.*, 2009). Néanmoins, les teneurs mentionnées dans les publications sont généralement faibles et sans impact conséquent sur la qualité sanitaire des denrées. Ici également, un professionnalisme accru des différents acteurs explique cette amélioration observée par Harcz *et al.* (2007b) des teneurs en OTA dans les bières artisanales.

Cette revue de la littérature illustre également la complexité du phénomène de développement des moisissures toxigènes et de la production de mycotoxines. Non seulement les indicateurs de type microbiologique ne sont pas très probants mais, en outre, il est important d'adosser le dispositif expérimental à un traitement statistique robuste des résultats qui tient compte du fait que les différences observées peuvent être de faible amplitude et/ou variables en fonction

Tableau 8. Revue des études publiées en Europe dans les années 2000 sur l'estimation de l'exposition des consommateurs aux mycotoxines contaminant les produits céréaliers des filières « bio » (BIO) et conventionnelles (CONV).

Table 8. Review of the studies published in Europe at around 2000 on the estimated exposure of consumers to mycotoxins contaminating cereal products of the organic (BIO) and conventional (CONV) branches.

Denrées alimentaires	Pays de production (P) ou distribution (D)	Mycotoxines	Résultats de l'évaluation	Références
Produits céréaliers	Belgique (P)	DON	Ingestion médiane plus élevée en CONV (94 % TDI) qu'en BIO (53 % TDI) ; pas de prise en compte de l'impact des processus de transformation des céréales brutes	Harcz <i>et al.</i> (2007a)
Produits céréaliers	Belgique (P)	ZEA	Ingestion médiane plus élevée en CONV (33 % TDI) qu'en BIO (15 % TDI) ; pas de prise en compte de l'impact des processus de transformation des céréales brutes	Harcz <i>et al.</i> (2007a)
Produits céréaliers	France (P)	DON	Exposition des consommateurs plus élevée en BIO avec 10 % des consommateurs susceptibles de dépasser la limite tolérable ; pas de prise en compte de l'impact des processus de transformation des céréales brutes	Leblanc <i>et al.</i> (2002)
Produits céréaliers	Italie (D)	OTA	Peu de différences entre BIO et CONV	Biffi <i>et al.</i> (2004)
Bière	Belgique (D)	DON	Ingestion moyenne négligeable par rapport à l'exposition tolérable (3 %) ; pas de comparaison entre systèmes de production	Anselme <i>et al.</i> (2006)
Bière	Belgique (D)	OTA	Ingestion moyenne faible par rapport à l'exposition tolérable (10 %) ; pas de comparaison entre systèmes de production	Anselme <i>et al.</i> (2006)
Bière	Belgique (D)	DON	Peu de différences entre BIO et CONV (ingestion moyenne respective de 0,05 et 0,06 µg/kg)	Harcz <i>et al.</i> (2007b)
Bière	Belgique (D)	OTA	Consommateurs BIO 5 à 6 fois plus exposés que les consommateurs CONV	Harcz <i>et al.</i> (2007b)
Produits à base de riz	Espagne (D)	OTA	Ingestion moyenne négligeable (1 %) par rapport à l'exposition tolérable ; pas de comparaison entre systèmes de production	Gonzalez <i>et al.</i> (2006)

DON : déoxynivalénol ; ZEA : zéaralénone ; OTA : ochratoxine A.

de nombreux facteurs géographiques, pédoclimatiques et agronomiques. Enfin, la contamination par les mycotoxines, question pertinente du point de vue de la santé publique, ne représente qu'une des facettes d'une problématique bien plus vaste affectant les systèmes de production. Elle n'aborde qu'une petite partie des aspects sanitaires et n'inclut en aucun cas les questions nutritionnelles, voire celles liées au développement durable. Tenter de ne considérer cette problématique qu'en se limitant à la seule comparaison des teneurs en mycotoxines dans les produits « bio » et conventionnels peut dès lors apparaître comme une démarche très réductrice. C'est pourquoi, il convient d'être attentif à replacer la problématique des mycotoxines et d'autres contaminants (résidus de pesticides, contaminants environnementaux, métaux lourds) dans un contexte plus large (productions industrielles *versus* productions artisanales, par exemple) et de mettre en œuvre toutes les mesures susceptibles de prévenir l'ensemble des contaminations de la manière la mieux adaptée à chaque système de production. ■

Références

- Afssa, 2003. *Évaluation nutritionnelle et sanitaire des aliments issus de l'agriculture biologique*. Rapport de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Maisons-Alfort (France) : Afssa.
- Anselme M, Tangni EK, Pussemier L, Motte JC, Van Hove F, Schneider YJ, *et al.*, 2006. Comparison of ochratoxin A and deoxynivalenol in organically and conventionally produced beers sold on the Belgian market. *Food Additives and Contaminants* 23 : 910-8.
- Ariño A, Estopanan G, Juan T, Herrera A, 2007. Estimation of dietary intakes of fumonisins B1 and B2 from conventional and organic corn. *Food Control* 18 : 1058-62.
- Bakutis B, Baliukoniene V, Lugauskas A, 2006. Factors predetermining the abundance of fungi and mycotoxins in grain from organic and conventional farms. *Ekologia* 3 : 122-7.
- Berg T, Rasmussen G, Thorup I, 1995. *Mycotoxins in Danish food*. National Food Agency of Denmark, publication n° 225. Copenhagen (Denmark).
- Biffi R, Munari M, Dioguardi L, Ballabio C, Cattaneo A, Galli CL, *et al.*, 2004. Ochratoxin A in conventional and organic cereal derivatives: a survey of the Italian market, 2001-02. *Food Additives and Contaminants* 21 : 586-91.
- Birzele B, Prange A, Kramer J, 2000. Deoxynivalenol and ochratoxin A in German wheat and changes of level in relation to storage parameters. *Food Additives and Contaminants* 17 : 1027-35.
- Champeil A, Fourbet JF, Dore T, Rossignol L, 2004. blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection* 23 : 531-7.
- Chandelier A, Michelet JY, Tangni EK, Baert K, Moons E, Vinkx C, 2004. Mycotoxins survey in Belgium and toxigenic *Fusarium* in Belgian wheat. In : Logrieco A, Visconti A, eds. *An overview on toxigenic fungi and mycotoxins in Europe*. The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Czerwiecki L, Czajkowska D, Witkowska-Gwiazdowska A, 2002a. On ochratoxin A and fungal flora in Polish cereals from conventional and ecological farms. Part 1: occurrence of ochratoxin A and fungi in cereals in 1997. *Food Additives and Contaminants* 19 : 470-7.
- Czerwiecki L, Czajkowska D, Witkowska-Gwiazdowska A, 2002b. On ochratoxin A and fungal flora in Polish cereals from conventional and ecological farms. Part 2: occurrence of ochratoxin A and fungi in cereals in 1998. *Food Additives and Contaminants* 19 : 1051-7.
- Ghidini S, Zanardi E, Battaclaia A, Varisco G, Ferretti E, Campanini G, *et al.*, 2005. Comparison of contaminant and residue levels in organic and conventional milk and meat products from Northern Italy. *Food Additives and Contaminants* 22 : 9-14.
- Gonzalez L, Juan C, Soriano JM, Molto JC, Manes J, 2006. Occurrence and daily intake of ochratoxin A of organic and non-organic rice and rice products. *International Journal of Food Microbiology* 107 : 223-7.
- Griesshaber D, Kuhn F, Berger U, Oehme M, 2004. Comparison of trichothecene contaminations in wheat cultivated by three different farming systems in Switzerland: biodynamic, bioorganic and conventional. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* 95 : 251-60.
- Harcz P, de Temmerman L, de Voghel S, Waegeneers N, Wilmart O, Vromman V, *et al.*, 2007a. Contaminants in organically and conventionally produced winter wheat (*Triticum aestivum*) in Belgium. *Food Additives and Contaminants* 24 : 713-20.
- Harcz P, Tangni EK, Wilmart O, Moons E, Schneider YJ, de Saegher S, *et al.*, 2007b. Contribution of beer to OTA and DON exposure in Belgium. *Food Additives and Contaminants* 24 : 910-6.
- Herrera J, Estopanan G, Ariño A, 2009. Comparison of deoxynivalenol, ochratoxin A and aflatoxin B1 levels in conventional and organic durum semolina and the effect of milling. *Journal of Food and Nutrition Research* 48 : 92-9.
- Hietaniemi V, Kontturi M, Rämö S, 2004. Contents of trichothecenes in oats during official variety, organic cultivation and nitrogen fertilization trials in Finland. *Agricultural and Food Science* 13 : 54-67.
- Hoogenboom LAP, Bokhorst JG, Northolt MD, van de Vijver LP, Broex NJ, Mevius DJ, *et al.*, 2008. Contaminants and microorganisms in Dutch organic food products: a comparison with conventional products. *Food Additives and Contaminants* 25 : 1195-207.
- Jestoi M, Somma MC, Kouva M, Veijalainen P, Rizzo A, Ritieni A, *et al.*, 2004. Levels of mycotoxins and sample cytotoxicity of selected organic and conventional grain-based products purchased from Finnish and Italian markets. *Molecular Nutrition and Food Research* 48 : 299-307.
- Juan C, Molto JC, Lino CM, Manes J, 2008. Determination of ochratoxin A in organic and non-organic cereals and cereal products from Spain and Portugal. *Food Chemistry* 107 : 525-30.
- Larondelle Y, Motte JC, Peeters J, van Peteghem C, Schneider YJ, 2005. *Mycotoxin contamination of regular and organic foodstuffs*. Belgian Science Policy Final Report D/2005/1191/23. Brussels (Belgium) : Belspo (www.belspo.be).
- Leblanc JC, Malmauret L, Delobel D, Verger P, 2002. Simulation of the exposure to deoxynivalenol of French consumers of organic and conventional foodstuffs. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 36 : 149-54.
- Mäder P, Hahn D, Dubois D, Gunst L, Alfoldi T, Bergmann H, *et al.*, 2007. Wheat quality in organic and conventional farming: results of a 21 year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87 : 1826-35.
- Magkos F, Avani F, Zampela A, 2006. Organic food: buying more safety or just peace of mind? A critical review of the literature. *Critical Reviews in Food Science* 46 : 23-56.
- Malmauret L, Parent-Massin D, Hardy JL, Verger P, 2002. Contaminants in organic and conventional foodstuffs in France. *Food Additives and Contaminants* 19 : 524-32.
- Perkowski J, Wivart M, Busko M, *et al.*, 2007. *Fusarium* toxins and total fungal biomass indicators in naturally contaminated wheat samples from North-Eastern Poland in 2003. *Food Additives and Contaminants* 24 : 1292-8.
- Piva G, Battillani P, Pietri A, 2006. Emerging issues in Southern Europe: aflatoxins in Italy. In : Barug D, Bhatnagar D, van Egmond HP, van der Kamp JW, van Ossebruggen WA, Visconti A, eds. *The mycotoxin factbook*. Wageningen (The Netherlands) : Wageningen Academic Publishers.
- Pussemier L, Larondelle Y, Van Peteghem C, Huyghebaert A, 2006a. Chemical safety of conventionally and organically produced foodstuffs: a tentative comparison under Belgian conditions. *Food Control* 17 : 14-21.
- Pussemier L, Pièrard JY, Anselme M, Tangni EK, Motte JC, Larondelle Y, 2006b. Development and application of analytical methods adapted to the determination of mycotoxins in organic and conventional cereals. *Food Additives and Contaminants* 23 : 1208-18.
- Rossi F, Bertuzzi T, Comizzoli S, Turconi G, Roggi C, Pagani M, *et al.*, 2006. Preliminary survey on composition and quality of conventional and organic wheat. *Italian Journal of Food Science* 18 : 355-66.
- Schneweis I, Meyer K, Ritzman M, Hoffmann P, Dempfle L, Bauer J, 2005. Influence of organically or conventionally produced wheat on health, performance and mycotoxin residues in tissues and bile of growing pigs. *Archives of Animal Nutrition* 59 : 155-63.
- Schollenberger M, Drochner W, Ruffe M, Suchy S, Terry-Jara H, Muller HM, 2005. Trichothecene toxins in different groups of conventional and organic bread of the German market. *Journal of Food Composition and Analysis* 18 : 69-78.
- Tamm L, Thürig B, 2002. FiBL position paper: mycotoxins in organic food. *Ecology and Farming* 4.
- Tangni EK, Pussemier L, 2006. Ochratoxin A and citrinin loads in stored wheat grains: impact of grain dust and possible prediction using ergosterol measurements. *Food Additives and Contaminants* 23 : 181-9.
- Tangni EK, Pussemier L, 2007. Ergosterol and mycotoxins in grain dusts from fourteen Belgian cereal storages: a preliminary screening survey. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87 : 1263-70.