

Fusaries et mycotoxines dans le maïs-grains en Suisse

Tomke Musa, Eveline Jenny, Hans-Rudolf Forrer et Susanne Vogelgsang

Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

Renseignements: Tomke Musa, e-mail: tomke.musa@art.admin.ch, tél. +41 44 377 72 39



Figure 1 | Fusarioses des épis et des tiges sur le maïs, provoquées par une infestation par des espèces de *Fusarium*. (Photos: ART)

Introduction

En Suisse, la culture du maïs-grains occupe environ 17 000 ha. Comme le maïs-ensilage, il est essentiellement utilisé pour l'alimentation des animaux de rente. Différents agents pathogènes et ravageurs attaquent le maïs, dont les champignons du genre de *Fusarium*. Les fusarioses peuvent attaquer aussi bien les épis que les tiges et les racines et entraînent la pourriture de la racine et du collet (fig. 1). L'infestation se traduit d'une part par des pertes de rendement et de qualité. D'autre part, le métabolisme des fusarioses génère des produits toxiques, aussi appelés mycotoxines, nocifs pour l'homme et l'animal. La littérature montre que le maïs est souvent la

céréale la plus touchée (Munkvold 2003). Par rapport au blé, le maïs est infecté par un plus grand nombre d'espèces de *Fusarium*, d'où un spectre de mycotoxines plus large (Dorn *et al.* 2009; Desjardins 2006). Par conséquent, la récolte peut être contaminée simultanément par plusieurs toxines.

De 2005 à 2007, Agroscope ART a réalisé une première étude sur le maïs, au niveau local et limitée à des essais variétaux (Dorn *et al.* 2009). Cette étude a montré que les échantillons de maïs-grains étaient contaminés par un grand nombre d'espèces de *Fusarium* et que les teneurs en mycotoxines des échantillons analysés étaient parfois très élevées. A partir de ces résultats, un monitoring du maïs-grains a été réalisé dans l'ensemble de la Suisse sur trois ans avec des échantillons provenant d'exploitations agricoles.

Echantillons de maïs-grains issus de la pratique

Le but du monitoring était de pouvoir tirer des conclusions représentatives sur la présence et l'importance des différentes espèces de *Fusarium*, ainsi que sur le risque de contamination du maïs-grains par des mycotoxines en Suisse. Il s'agissait en outre d'identifier les facteurs qui influencent l'infection et d'en tirer des recommandations pour la pratique. En effet, contrairement au blé, de telles recommandations n'existent pas encore pour le maïs. La demande est cependant forte dans le milieu agricole, car depuis avril 2008, il existe aussi des valeurs indicatives pour les mycotoxines déoxynivalénol (DON), zéaralénone (ZEN) et fumonisines (FUM) dans le maïs et les produits à base de maïs destinés aux aliments pour animaux (tabl. 1).

Matériel et méthodes

Les agriculteurs participant à l'étude ont reçu des instructions pour effectuer les prélèvements sur leur récolte afin d'obtenir un échantillonnage représentatif. Ils ont également reçu un questionnaire afin de consigner les informations spécifiques à la variété de maïs cultivée, le précédent cultural et l'avant-dernier précédent, le travail du sol, les dates de semis et de récolte, l'infestation par la pyrale du maïs, l'infestation par des fusarioses, les épisodes

de grêle ainsi que les engrais et herbicides employés. En 2008 et en 2009, des échantillons nous sont parvenus en provenance de 14 cantons et en 2010 de 12 cantons: AG, BE, FR, JU, LU, NE, SG, SH, SO, TG, TI, VD, VS, ZH. Après réception, les échantillons ont été séchés pendant trois jours à 35 °C. Puis, un prélèvement représentatif de 200 grains a été effectué à l'aide d'un diviseur de grains pour déterminer s'il y avait ou non des infestations par des espèces de *Fusarium*. Les grains ont été stérilisés à la surface et soumis à un test sanitaire de plusieurs étapes en laboratoire. Les espèces de *Fusarium* ont été déterminées au microscope à l'aide des critères morphologiques des spores et de la croissance des colonies dans les boîtes de Pétri avec agar (Nelson *et al.* 1983; Leslie et Summerell 2006). Le pourcentage des différentes espèces de *Fusarium* dans l'ensemble de l'infestation a été calculé en comptant les colonies de champignons qui se sont développées dans les boîtes d'agar. Sur les 289 échantillons de maïs envoyés pendant les trois années, un total de 57 800 grains de maïs ont été prélevés et ont permis d'obtenir 6482 souches de *Fusarium*. Pour déterminer leur contamination, les échantillons ont été broyés finement et les mycotoxines extraites. Un test immuno-enzymatique (ELISA®Ridascreen) a permis de mesurer la teneur des extraits en DON, ZEN et FUM.

Résultats et discussion

Infestation des échantillons de maïs-grains par des espèces de *Fusarium*

En 2008, 14 % de tous les grains de maïs étudiés étaient infectés par les fusaries; en 2009, le pourcentage était de 22 %, et en 2010 de 31 %. Dans les différents échantillons, l'infection des grains par des fusaries variait entre 0 et 100 %. Durant les trois années, 16 espèces de *Fusarium* différentes ont été identifiées, ce qui a permis de confirmer la grande diversité des espèces de *Fusarium* déjà constatée dans la première étude mentionnée par Agroscope ART (Dorn *et al.* 2009; tabl. 2). Durant les trois années, les espèces les plus fréquentes étaient les suivantes: *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. subglutinans*, *F. proliferatum* et *F. crookwellense* (fig. 2). Comme le montre la figure 2, il existe un net effet de l'année considérée sur la fréquence de leur présence. En 2008, *F. graminearum* dominait avec 42 %, tandis qu'en 2009, les quatre espèces citées en premier sont apparues dans des proportions pratiquement semblables. En 2010, *F. graminearum* et *F. verticillioides* étaient plus fréquentes que les autres espèces. D'autres effets de l'année étudiée sur la présence des fusaries ont également été décrits dans des études réalisées en Allemagne, en Belgique et en Suisse (Goertz *et al.* 2010; Scauflaire *et al.* 2011; Dorn *et*

Résumé De 2008 à 2010, ART a réalisé le premier monitoring du maïs-grains à l'échelle de la Suisse à partir d'échantillons fournis par des exploitations agricoles. Cette étude avait pour but d'étudier la présence et l'importance des espèces de *Fusarium*, afin d'évaluer le risque potentiel représenté par les mycotoxines. Il s'agissait en outre d'identifier les facteurs culturaux influençant l'infection et d'en tirer des recommandations pour la pratique afin de limiter la contamination par les mycotoxines. 22 % de tous les grains analysés étaient infectés par des souches de *Fusarium* et 16 espèces de *Fusarium* différentes ont été identifiées. *F. graminearum*, *F. subglutinans*, *F. verticillioides* et *F. proliferatum* étaient dominantes. En 2008 et en 2010, 57 % et 70 % des échantillons ont dépassé la valeur indicative fixée à 0,9 ppm de déoxynivaléno (aliments complémentaires et aliments complets destinés aux porcs) tandis que le pourcentage était de 30 % en 2009. La contamination par les autres mycotoxines était nettement plus faible. En dépit des nombreuses données disponibles, pour l'instant seules des recommandations générales peuvent être formulées sur les facteurs déterminant l'infection.

al. 2011). Les conditions météorologiques peuvent expliquer les différences dans la présence des espèces. *Fusarium verticillioides* notamment apparaît davantage dans des conditions sèches et chaudes, tandis que *F. graminearum* domine généralement lorsque le temps est humide et plutôt frais.

Contamination des échantillons de maïs-grains par des mycotoxines

La contamination des échantillons par des mycotoxines variait également selon l'année étudiée: en 2008 et 2010, où les espèces produisant de la DON (*F. graminearum* et *F. crookwellense*) dominaient, 57 % et 70 % des échantillons atteignaient, voire dépassaient la valeur indicative de 0,9 ppm recommandée pour les aliments complémentaires et les aliments complets destinés aux porcs. En 2009, ce n'était le cas «que» pour 30 % des échantillons (fig. 2). Ces résultats montrent clairement que le risque de conta- ➤

Tableau 1 | Teneurs maximales recommandées pour les produits à base de maïs destinés à l'alimentation animale (Source: Journal officiel de l'Union européenne, 23.8.2006, L 229/7)

Mycotoxine	Produits destinés à l'alimentation animale	Teneur maximale recommandée en mg/kg (ppm) pour un aliment pour animaux ayant un taux d'humidité de 12 %
Déoxynivalénoïl	– Sous-produits du maïs	12
	– Aliments complémentaires et complets excepté pour:	5
	• les porcs	0,9
	• les veaux (< 4 mois), les agneaux et les chevreaux	2
Zéaralénone	– Sous-produits du maïs	3
	– Aliments complémentaires et complets pour:	
	• les porcelets et les jeunes truies	0,1
	• les truies et les porcs d'engraissement	0,25
• les veaux, le bétail laitier, les ovins (agneaux compris) et les caprins (chevreaux compris)	0,5	
Fumonisine B1 + B2	– Maïs et produits à base de maïs*	60
	– Aliments complémentaires et complets pour:	
	• les porcs, les équidés, les lapins et les animaux familiers	5
	• les poissons	10
	• la volaille, les veaux (< 4 mois), les agneaux et les chevreaux	20
• les ruminants (> 4 mois) et les visons	50	

*L'expression «maïs et produits à base de maïs» couvre non seulement les matières premières à base de maïs, mais également les autres matières premières dérivées du maïs entrant dans la composition des aliments pour animaux, notamment les fourrages et les fibres de maïs.

mination en DON du maïs-grains est très élevé. Cette contamination est très importante car le maïs-grains produit sur l'exploitation est souvent utilisé directement pour l'alimentation des animaux de rente sans analyse préalable de sa teneur en mycotoxines. Par conséquent, les éventuelles charges en mycotoxines passent souvent inaperçues et représentent un risque pour la santé des animaux.

La contamination en ZEN était nettement plus faible que la contamination en DON dans le présent monitoring des grains de maïs. Dans l'ensemble, 19 % des échantillons ont dépassé la valeur indicative pour la ZEN pour les truies et les porcs à l'engrais (0,25 ppm dans les aliments complémentaires et les aliments complets). Pour les fumonisines, seuls 2 % des échantillons (6 sur 289) dépassaient la valeur indicative de 5 ppm pour les porcs et les chevaux (aliments complémentaires et aliments complets). Quatre de ces échantillons provenaient du canton du Tessin, un échantillon du canton de St-Gall et un autre du canton de Schaffhouse.

Lien entre la contamination par des espèces de *Fusarium* et par des mycotoxines

Contrairement à l'étude effectuée sur le blé (Vogelgsang et al. 2009), notre étude n'a pas permis de constater une relation étroite entre l'infection par *F. graminearum* (FG) et la teneur en DON. Néanmoins, on a pu constater, en 2008 seulement, un coefficient de corrélation (valeur r) de

Tableau 2 | Fréquence d'infestation relative (%) et nombre de souches de *Fusarium* lors du monitoring des grains de maïs réalisé par ART à l'échelle de toute la Suisse de 2008 à 2010. Le tableau représente les moyennes des échantillons de grains de maïs par an. La fréquence d'infestation a été déterminée par un test sanitaire. Les cinq espèces de *Fusarium* les plus fréquentes apparaissent sur un fond bleu.

Espèce de <i>Fusarium</i>	2008 (n = 94)	2009 (n = 105)	2010 (n = 90)
	Fréquence d'infestation relative (%)		
<i>F. avenaceum</i>	2,1	3,0	2,5
<i>F. crookwellense</i>	3,7	2,1	7,3
<i>F. culmorum</i>	1,5	1,6	1,3
<i>F. equiseti</i>	3,3	3,3	1,7
<i>F. graminearum</i>	42,0	19,8	30,9
<i>F. oxysporum</i>	1,4	3,4	1,0
<i>F. poae</i>	2,9	5,6	1,3
<i>F. proliferatum</i>	7,9	13,0	11,2
<i>F. sambucinum</i>	0,1	0,0	0,0
<i>F. semitectum</i>	0,1	0,0	0,0
<i>F. solani</i>	0,0	0,1	0,1
<i>F. sporotrichioides</i>	0,3	0,3	0,7
<i>F. subglutinans</i>	20,1	24,1	13,4
<i>F. tricinctum</i>	0,1	1,1	0,6
<i>F. venenatum</i>	1,3	0,5	0,3
<i>F. verticillioides</i>	13,0	22,0	26,8
% de grains infectés	14	22	31
Nombre de souches	1355	2354	2774

n = nombre d'échantillons

0,68 (2009 $r=0,28$; 2010 $r=0,26$). Une corrélation plus importante entre FG et DON a pu être observée lorsque l'analyse ne portait que sur les échantillons non infectés par *F. verticillioïdes*. Il semblerait donc que les différentes espèces de *Fusarium* s'influencent les unes les autres lorsqu'elles sont présentes ensemble, comme le montrent également des études de Reid *et al.* (1999) et Picot *et al.* (2011).

Aucun rapport n'a été constaté entre l'infestation par des champignons formant des FUM (*F. verticillioïdes*, *F. subglutinans* et *F. proliferatum*) et la teneur en FUM des échantillons de maïs-grains. Il peut y avoir plusieurs raisons à cela: de par la littérature, on sait qu'il existe des souches d'une même espèce produisant plus ou moins de mycotoxines (Logrieco *et al.* 2007). Cela pourrait aussi être lié à ce qu'on appelle les mycotoxines «masquées» (Berthiller *et al.* 2009). Il s'agit de toxines conjuguées solubles qui se forment soit pendant les processus chimiques dans la plante (p. ex. détoxification), dans les microbes, dans le champignon lui-même ou pendant la fabrication des denrées alimentaires, ou encore qui s'intègrent à la paroi cellulaire sous forme de complexes liés. Différents processus comme la digestion peuvent rendre à ces mycotoxines conjuguées leur forme toxique initiale et nuire à la santé. Par conséquent, les mycotoxines masquées peuvent participer au risque global des mycotoxines, bien qu'elles ne soient pas enregistrées par l'analyse. On sait qu'il existe de tels complexes pour DON, ZEN et FUM (Dall'Asta *et al.* 2008).

A la recherche des facteurs déterminant l'infection

L'identification des facteurs culturaux potentiels s'est concentrée sur l'espèce la plus fréquente, *F. graminearum* (FG) et sur la mycotoxine DON. A l'instar du monitoring du blé réalisé par Agroscope ART, qui a permis de montrer la nette influence du précédent cultural, du travail du sol et de la combinaison de ces deux facteurs sur l'infection par FG et la contamination par DON (Vogelgsang *et al.* 2009), ces facteurs ont également été étudiés dans le projet sur le maïs-grains. Concernant le travail du sol, on a distingué les procédés avec labour et ceux avec semis sous litière (semis direct compris); pour l'effet du précédent cultural, les groupes des céréales (blé et orge) ont été différenciés des autres cultures précédentes (maïs, pommes de terre, soja, tournesol, jachère florale, prairie temporaire, petits pois, carottes). Toutes les données et années confondues, une différence significative n'a été constatée que pour le travail du sol. Ni le précédent cultural seul, ni la combinaison du précédent cultural et du travail du sol n'ont donné de différences significatives. Les échantillons de maïs-grains provenant de champs labourés présentaient une infection par FG et

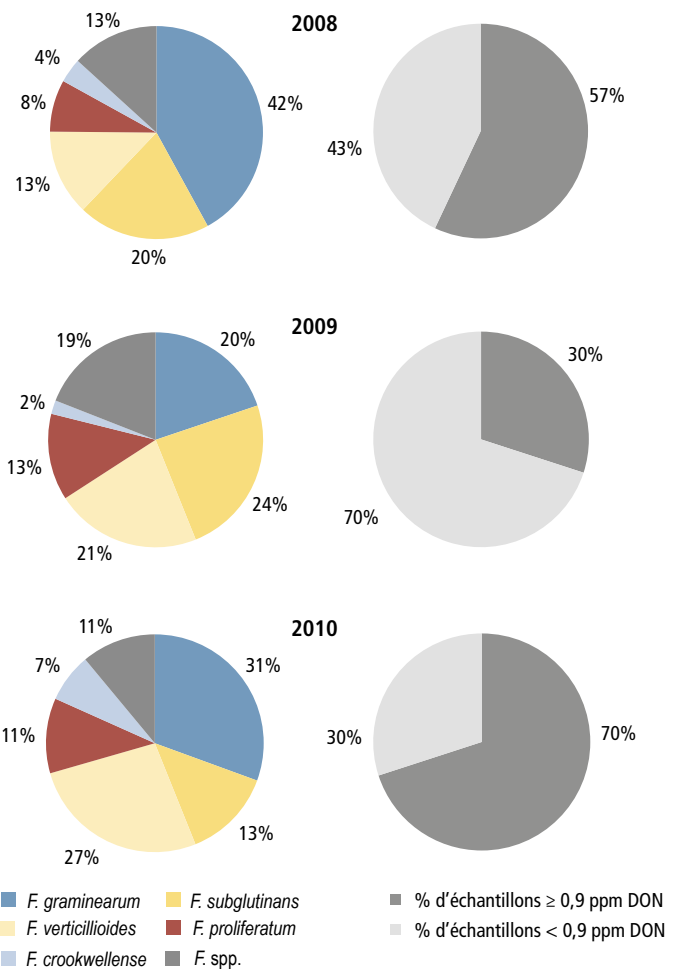


Figure 2 | Spectre des espèces de *Fusarium* et fréquence de leur présence dans les grains infectés lors du monitoring du maïs de 2008 à 2010 (à gauche). Pourcentage des échantillons ayant dépassé la valeur recommandée de déoxynivalénol fixée à 0,9 ppm (à droite). *F. spp.*: résumé de toutes les autres espèces de *Fusarium* identifiées. *F. graminearum* forme notamment du déoxynivalénol et de la zéaralénone; *F. verticillioïdes*, *F. subglutinans*, *F. proliferatum* forment des fumonisines, *F. crookwellense* forme notamment du déoxynivalénol et de la nivalénol.

une contamination par DON significativement plus faible que les échantillons provenant de parcelles avec semis sous litière (fig. 3). L'avant-dernier précédent cultural n'avait aucune influence sur l'infestation par FG et la teneur en DON, quelles que soient les données et les années considérées. En 2008, les échantillons pour lesquelles une culture intermédiaire (généralement mélange herbe-trèfle) avait été mise en place, affichaient toutefois une infestation par FG et une teneur en DON significativement plus élevées.

Des dates de récolte plus tardives se sont traduites par une infestation plus élevée. Les échantillons de maïs-grains récoltés seulement vers la fin octobre ou en

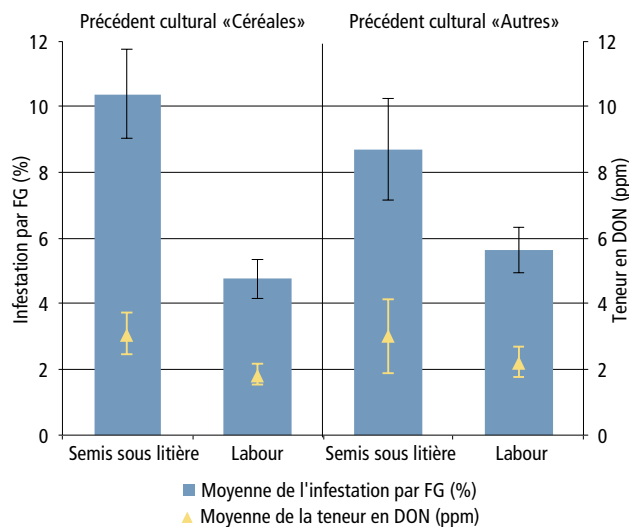


Figure 3 | Influence du précédent cultural et du travail du sol sur l'infestation par *F. graminearum* (FG, colonnes bleues) et la contamination par la mycotoxine déoxynivalénol (DON, triangles jaunes). Moyennes des récoltes 2008 à 2010 avec écart-types comme mesure de la variabilité. n= 289, précédent cultural «céréales» = blé, orge; précédent cultural «autres» = maïs, pommes de terre, soja, tournesol, petits pois, carottes.

novembre présentait une infestation par FG, une teneur en DON et en ZEN significativement plus élevées que les échantillons récoltés de mi-septembre jusqu'à mi-octobre. Ce phénomène a également été observé dans d'autres études de terrain (p. ex. Blandino *et al.* 2009).

Il existait une grande diversité de variétés de maïs. C'est pourquoi l'aspect variétal a été analysé à partir des groupes de maturité correspondants (précoce, mi-précoce et mi-tardif). Les variétés précoces avaient une teneur en DON et en FUM significativement plus faible que les variétés mi-tardives. Les groupes de maturité n'avaient aucune influence sur la contamination par ZEN. Dans les parcelles où une infection par la pyrale du maïs avait été observée, l'infestation globale par les fusaries était significativement plus importante que dans les autres parcelles. Aucune influence sur les différentes espèces de *Fusarium* n'a cependant pu être identifiée, bien que d'autres études aient pu montrer que l'infection par la pyrale du maïs conduisait à une infection plus forte par *F. verticillioides* (Blandino *et al.* 2009).

Conclusions

L'analyse des facteurs pour le maïs-grains est nettement plus complexe que l'analyse des facteurs pour le blé qui est clairement axée sur la problématique FG/DON. Le maïs est attaqué par un plus grand nombre d'espèces de *Fusarium*, qui peuvent s'influencer les unes les autres dans leur développement et leur production de mycotoxines. De plus, les conditions météorologiques ont une grande influence sur l'éventail des espèces de *Fusarium* et de mycotoxines. Etant donné les résultats du monitoring des grains de maïs de 2008 à 2010, il est recommandé de tenir en compte des aspects suivants pour éviter l'infestation par FG et la contamination par DON:

- le risque d'infection par FG et de contamination par DON est plus important avec semis sous litière qu'avec labour;
- la lutte contre la pyrale du maïs réduit le risque d'infestation par des espèces de *Fusarium*;
- la récolte devrait avoir lieu le plus tôt possible;
- la culture de variétés de maïs précoces minimise le risque de contamination par DON grâce à la date plus précoce de la récolte;
- en cas d'utilisation du maïs-grains dans l'exploitation, il est recommandé de bien le nettoyer, car les grains chétifs et avec des brisures peuvent être fortement contaminés par des mycotoxines.

Perspectives

Comme le maïs est souvent infesté par des fusaries et que le changement du procédé de travail du sol ou de l'assolement ne suffit pas à réduire suffisamment le risque représenté par des mycotoxines, les variétés de maïs devraient si possible avoir une sensibilité basse aux espèces de *Fusarium*. Des études sont prévues dans le cadre des essais variétaux d'Agroscope sur le maïs-grains pour mieux estimer l'influence des différentes variétés. En collaboration entre Agroscope ART et ACW, des échantillons de grains de différentes variétés seront prélevés et analysés pour savoir s'ils présentent une infection par des fusaries et quelle est leur teneur en mycotoxines. Des conditions standards (facteurs culturaux moins diversifiés, répétitions) devraient permettre de mieux comprendre les interactions complexes entre l'infestation par les fusaries et la contamination par des mycotoxines du maïs-grains et de pouvoir fournir des recommandations plus détaillées à la pratique. ■

Riassunto

Fusarium e micotossine nel mais da granella in Svizzera

Tra il 2008 e il 2010, la Stazione di ricerca Agroscope Reckenholz-Tänikon ART ha svolto il primo monitoraggio della contaminazione da micotossine su campioni di mais da granella svizzeri. L'obiettivo era di chiarire l'importanza delle diverse specie di *Fusarium* presenti e di valutare il rischio dovuto alla micotossina. Si trattava inoltre di identificare i fattori legati ai metodi colturali sull'infestazione ed elaborare raccomandazioni per evitare contaminazioni. L'esame di 289 campioni (da 14 cantoni) ha rivelato un tasso di *Fusarium* del 22%. Ne sono state identificate 16 specie. Le più frequenti erano *Fusarium graminearum*, *F. subglutinans*, *F. verticillioides* e *F. proliferatum*. La nostra analisi ha indicato che le contaminazioni sono dovute soprattutto alla micotossina deossinivalenolo: nel 2008 e 2010, il 57%, risp. il 70% dei campioni di mais ha superato il valore indicativo di 0,9 ppm (complementi nutritivi e foraggi completi per suini). Nel 2009, il 30% ha superato questo valore. La contaminazione da altre micotossine era molto inferiore. Nonostante la gravità dei dati, per ora si possono formulare solo raccomandazioni generali per evitare il rischio di contaminazione.

Bibliographie

- Berthiller F., Schuhmacher R., Gerhard A. & Krška R., 2009. Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **395**, 1243–1252.
- Blandino M., Reyneri A. & Vanara F., 2009. Effect of sowing time on toxicogenic fungal infection and mycotoxin contamination of maize kernels. *Phytopathology* **157**, 7–14.
- Dall'Asta C., Galcerà G., Aureli G., Dossena A. & Marchelli R., 2008. A LC-MS/MS method for the simultaneous quantification of free and masked fumonisins in maize and maize-based products. *World Mycotoxin Journal* **1**, 237–246.
- Desjardins A.E., 2006. *Fusarium* Mycotoxins, Chemistry, Genetics and Biology. St. Paul, APS. 260 p.
- Dorn B., Forrer H. R., Schürch S. & Vogelgsang S., 2009. *Fusarium* complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. *European Journal of Plant Pathology* **125**, 51–61.
- Dorn B., Forrer H. R., Jenny E., Wettstein F. E., Bucheli T. D. & Vogelgsang S., 2011. *Fusarium* species complex and mycotoxins in grain maize from maize hybrid trials and from grower's fields. *Journal of Applied Microbiology* **111**, 693–706.
- Goertz A., Zuehlke S., Spiteller M., Steiner U., Dehne H., Waalwijk C., de Vries I. & Oerke E., 2010. *Fusarium* species and mycotoxin profiles on commercial maize hybrids in Germany. *European Journal of Plant Pathology* **128**, 101–111.
- Leslie J. F. & Summerell B. A., 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing. Oxford, UK. 388 p.

Summary

Fusaria and mycotoxins in grain maize in Switzerland

Between 2008 and 2010, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART conducted a first Swiss-wide monitoring of commercial grain maize samples. The aim was to determine the occurrence and impact of different *Fusarium* species in order to assess the potential risk of mycotoxin contamination. In addition, we evaluated the potential influence of different cropping factors in order to provide advice for growers on how to avoid high mycotoxin loads. 289 grain-maize samples from 14 cantons were analysed. Overall, 22% of the grains were infected with *Fusarium* and 16 different species were identified. *Fusarium graminearum*, *F. subglutinans*, *F. verticillioides* and *F. proliferatum* were the most dominant species. In 2008 and 2010, 57% and 70% of the samples, respectively, exceeded the guidance value of 0,9 ppm deoxynivalenol (complementary and complete feedingstuffs for pigs). In 2009, 30% of the samples exceeded this value. The levels of the other mycotoxins were substantially lower. Despite the extensive dataset, as of yet, only general recommendations can be defined with respect to influencing cropping factors that reduce the risk of mycotoxin contamination in grain maize.

Key words: maize, fusarium ear rot, mycotoxins, cropping factors.

- Logrieco A., Moretti A., Perrone G. & Mulè G., 2007. Biodiversity of complexes of mycotoxigenic fungal species associated with *Fusarium* ear rot of maize and *Aspergillus* rot of grape. *International Journal of Food Microbiology* **119**, 11–16.
- Munkvold G. P., 2003. Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. *Annual Reviews of Phytopathology* **41**, 99–116.
- Nelson P. E., Tousson T. A. & Marasas W. F. O., 1983. *Fusarium* species: An Illustrated Manual for Identification. Pennsylvania State: University Press. 89 p.
- Picot A., Hourcade-Marcolla, Barreau C., Pinson-Gadais, Caron D., Richard-Forget F. & Lannou C., 2011. Interactions between *Fusarium verticillioides* and *Fusarium graminearum* in maize ears and consequences for fungal development and mycotoxin accumulation. *Plant Pathology*, DOI 10.1111/j.1365-3059.2011.02503.x, published online 13.7.2011.
- Reid L. M., Nicol R. W., Ouellet T., Savard M., Miller J. D., Young J. C., Stewart D. W. & Schaafsma A.W., 1999. Interaction of *Fusarium graminearum* and *F. moniliforme* in maize ears: disease progress, fungal biomass, and mycotoxin accumulation. *Phytopathology* **89**, 1023–1037.
- Scaufflaire J., Mahieu O., Louvieux J., Foucart G., Renard F. & Munaut F., 2011. Biodiversity of *Fusarium* species in ears and stalks of maize plants in Belgium. *European Journal of Plant Pathology* **131** (1), 59–66.
- Vogelgsang S., Jenny E., Hecker A., Bänziger I. & Forrer H. R., 2009. Fusarien und Mykotoxine bei Weizen aus Praxis-Erntepfunden. *Agrarforschung* **16** (7), 238–243.