

# Facteurs cultureux affectant les *Fusarium* spp. et les mycotoxines dans l'orge suisse

Torsten Schirdewahn<sup>1</sup>, Fabio Mascher<sup>2</sup>, Thomas D. Bucheli<sup>1</sup>, Mario Bertossa<sup>2</sup>, Tomke Musa<sup>1</sup>, Felix E. Wettstein<sup>1</sup>, Beat Keller<sup>3</sup> et Susanne Vogelgsang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU, 8046 Zurich, Suisse

<sup>2</sup>Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon / 6594 Cadenazzo, Suisse

<sup>3</sup>Université de Zurich, Institut de biologie végétale et de microbiologie, 8008 Zurich, Suisse

Renseignements: Torsten Schirdewahn, e-mail: torsten.schirdewahn@agroscope.admin.ch



Une parcelle d'orge est significativement plus souvent touchée par les fusaries (à droite) lorsque le précédent cultural est du maïs et qu'il n'y a pas eu de labour. (Photo: Torsten Schirdewahn, Agroscope)

## Introduction

La fusariose de l'épi est une des maladies les plus graves des céréales. Elle est causée par différentes espèces de *Fusarium*, le *Fusarium graminearum* (Schwabe; Teleomorph: *Gibberella zeae* Schwein, [Petch]) étant l'espèce dominante partout dans le monde (Parry *et al.* 1995). Une infection par *Fusarium* spp. entraîne des pertes de récolte et la contamination par différentes toxines d'origine fongique (les mycotoxines), appartenant au groupe des trichothécènes (déoxynivalénol, nivalénol, toxines T-2 et HT-2) ou par le mycoestrogène zéaralénone, qui peuvent porter atteinte à la santé des hommes et des animaux (Xu et Berrie 2005). En 2006, la Commission européenne a fixé des valeurs limites pour les mycotoxines, par exemple pour le déoxynivalénol ( $1250 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) et la zéaralénone ( $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) dans les céréales non transformées, valeurs qui ont été adoptées par la Suisse. Pour les céréales fourragères, les valeurs concernant les teneurs

de déoxynivalénol et de zéaralénone ne sont actuellement que d'ordre indicatif (Commission européenne 2006).

Il existe différentes stratégies pour lutter contre une infection par *Fusarium* spp. afin d'empêcher la contamination par les mycotoxines: des mesures culturales (Czaban *et al.* 2015), la lutte biologique (Schisler *et al.* 2002) et les traitements fongicides (Tateishi *et al.* 2014). Cependant, seule une gestion intégrée, reposant à la fois sur le choix des variétés, la rotation et une application des fongicides basée sur des systèmes de prévision, permet de réduire le risque d'infection.

En Suisse, les *Fusarium* spp. ont surtout été étudiées sur le blé (*Triticum aestivum* L.) et le maïs (*Zea mays* L.) (Vogelgsang *et al.* 2009; Musa *et al.* 2011), et on sait encore peu de choses sur leur présence dans l'orge (*Hordeum vulgare* L.).

Ce monitoring de deux ans avait pour but de relever le spectre des *Fusarium* spp. et la présence de mycotoxines dans les échantillons d'orge provenant de cultures commerciales. Ces informations, en combinaison avec les données agronomiques, permettront d'identifier les facteurs cultureux déterminant les infections et les contaminations.

## Matériel et méthodes

### Prélèvement et préparation des échantillons

Grâce au soutien des services phytosanitaires cantonaux, 440 échantillons d'orge ont été prélevés durant les années 2013 et 2014 et les données agronomiques s'y référant (variétés, travail du sol, rotation, etc.) ont été enregistrées. Pour déterminer le spectre d'espèces des *Fusarium* spp. et des mycotoxines, des sous-échantillons représentatifs de 6 g et de 150 g ont été prélevés. Les différentes espèces de *Fusarium* ont été identifiées au microscope selon Leslie et Summerell (2006). Les échantillons de 150 g ont été broyés (taille du tamis 1 mm) et la farine a ensuite été stockée à  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  en attente de

l'analyse. Tous les échantillons de farine ont été analysés avec la méthode LC-MS/MS (chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse) afin d'identifier les mycotoxines de type A (notamment toxines T-2 et HT-2) et les trichothécènes de type B (notamment déoxynivalénol et nivalénol).

### Evaluation statistique

Une régression linéaire multiple a permis de trouver les facteurs influençant l'infestation par *F. graminearum* (FG) et la teneur en déoxynivalénol (DON). Les valeurs moyennes de FG et de DON ont été soumises à des analyses de variance à un ou à plusieurs facteurs, puis à un test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), afin de trouver les différences significatives entre les facteurs cultureux ayant une influence potentielle. Pour s'approcher d'une distribution normale et d'une homogénéité dans les variances, on a opté pour une transformation arcsinus des données de FG et pour une transformation logarithmique des données de DON.

## Résultats et discussion

### Présence de *Fusarium* spp. et de mycotoxines

Pendant les deux années, un total de neuf espèces différentes de fusaries a été identifié, FG étant l'espèce dominante avec 58%, suivie de *F. avenaceum* (30%) et de *F. poae* (7%). D'autres espèces représentaient des pourcentages de 1% ou moins (fig. 1). L'infestation moyenne par les trois fusaries les plus fréquentes était très faible pendant les deux années étudiées (tabl. 1).

L'analyse des mycotoxines par LC-MS/MS a montré que DON était la toxine principale durant les deux années.

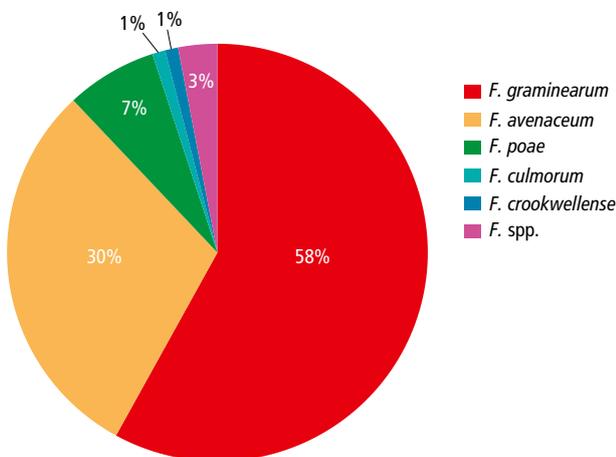


Figure 1 | Pourcentages des différentes espèces de fusaries dans les échantillons d'orge suisse en 2013 et 2014 (*F. spp.*: espèces de *Fusarium* avec un pourcentage < 1 %, nombre d'échantillons = 440).

### Résumé

L'analyse de 440 échantillons d'orge des années 2013 et 2014 ainsi que des données relatives au mode de culture (variétés, travail du sol, rotation, etc.) a montré que la présence du champignon *Fusarium graminearum* et de la mycotoxine déoxynivalénol dans l'orge était influencée par différents facteurs cultureux. Pour réduire le risque d'infestation, il faut prendre en compte non seulement les facteurs individuels, mais aussi la combinaison de différents facteurs, comme le précédent culturel et le travail du sol. Il faut donc toujours étudier l'ensemble du système de production pour identifier les facteurs d'influence. Ce faisant, ce n'est pas le système de culture (biologique, extensif, conforme aux prestations écologiques requises PER) qui est décisif, mais les différences à l'intérieur du système. Le maïs en précédent culturel est le facteur qui a le plus favorisé les infestations. La combinaison avec d'autres facteurs comme le travail du sol réduit ou la culture de maïs durant deux années consécutives a encore renforcé cet effet. Il a également été constaté que l'orge de printemps était moins touchée que l'orge d'automne. Dans les échantillons cultivés sans fongicides ni régulateurs de croissance ou avec un apport modéré en azote, l'infestation par *Fusarium* et les concentrations en mycotoxines étaient plus faibles.

Les résultats des autres trichothécènes de types A et B n'ont pas été pris en compte dans l'analyse.

La contamination moyenne par DON était de  $235 \mu\text{g kg}^{-1}$  en 2013 et de  $47 \mu\text{g kg}^{-1}$  en 2014. Les teneurs les plus élevées en 2013 et 2014 s'élevaient respectivement à  $4860 \mu\text{g kg}^{-1}$  et  $1725 \mu\text{g kg}^{-1}$ . La valeur limite de DON pour les céréales non transformées ( $1250 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) a été dépassée dans neuf échantillons en 2013 (3%) et dans un échantillon en 2014 (< 1%).

### Facteurs d'influence agronomiques

Durant les deux années d'étude, des différences ont pu être constatées entre les trois systèmes cultureux, le système biologique (bio;  $n = 42$ ), extensif (Extensio;  $n = 173$ ) et le système avec prestations écologiques requises (PER;  $n = 225$ ). Il s'est avéré que les échantillons provenant des cultures PER présentaient significativement plus d'infestations par FG ( $p < 0,001$ ), ainsi qu'une contamination plus élevée par DON (tabl. 2). Les valeurs les plus faibles

**Tableau 1** | Infestation moyenne par *F. graminearum* (FG), *F. avenaceum* (FA) et *F. poae* (FP) dans les échantillons d'orge suisse en 2013 et 2014 (n = nombre d'échantillons)

Année	n	Infestation moyenne par les espèces de <i>Fusarium</i> (%) Intervalle de confiance $\pm$ 95%		
		FG	FA	FP
2013	280	3,8 $\pm$ 1,8	1,8 $\pm$ 0,3	0,2 $\pm$ 0,1
2014	160	2,4 $\pm$ 1,3	1,0 $\pm$ 0,3	1,9 $\pm$ 0,2

de FG et de DON ont été relevées dans les cultures bio. Enfin, les échantillons d'orge d'automne présentaient en moyenne une infestation significativement plus élevée ( $p < 0,001$ ) par FG (3,1%) et une teneur plus haute en DON (180  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) par rapport aux échantillons d'orge de printemps (0,8%, 39  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ; tabl. 2). Il est possible que la période de végétation plus longue de l'orge d'automne favorise le développement du champignon et la formation de toxines. Il n'a cependant pas été possible de constater une corrélation entre la durée de la période de végétation et l'infestation par FG ou la teneur en DON. La variété d'orge de printemps Quench était la moins touchée par le champignon (0,6%) et la moins infestée par DON (30  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ). Elle a cependant été cultivée exclu-

**Tableau 2** | Influence du système cultural, de l'espèce d'orge et du groupe de substances actives des fongicides sur l'infestation par *F. graminearum* (FG) et la teneur en déoxynivalénol (DON) dans les échantillons d'orge suisse en 2013 et 2014; n = nombre d'échantillons, les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ( $p < 0,05$ ).

Facteur cultural	n	Infestation FG (%)	DON ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )
<b>Système de culture</b>		Moyenne (erreur-type)	
PER	225	4,4 (0,5) a	246,8 (33,4) a
Extenso	173	3,8 (0,3) b	92,4 (16,8) b
Bio	42	0,5 (0,2) b	23,8 (4,0) c
<b>Espèce</b>			
Orge d'automne	394	3,2 (0,3) a	179,5 (20,8) a
Orge de printemps	46	0,8 (0,2) b	39,1 (11,7) b
<b>Fongicides-groupe de substances actives</b>			
Triazole et strobilurine	71	6,2 (0,5) a	333,8 (32,7) a
Uniquement strobilurine	15	3,7 (0,2) ab	189,3 (12,0) ab
Uniquement triazole	126	3,6 (0,2) b	214,3 (20,5) b
Pas de fongicide	228	1,4 (0,2) c	83,2 (11,0) c

PER = prestations écologiques requises.

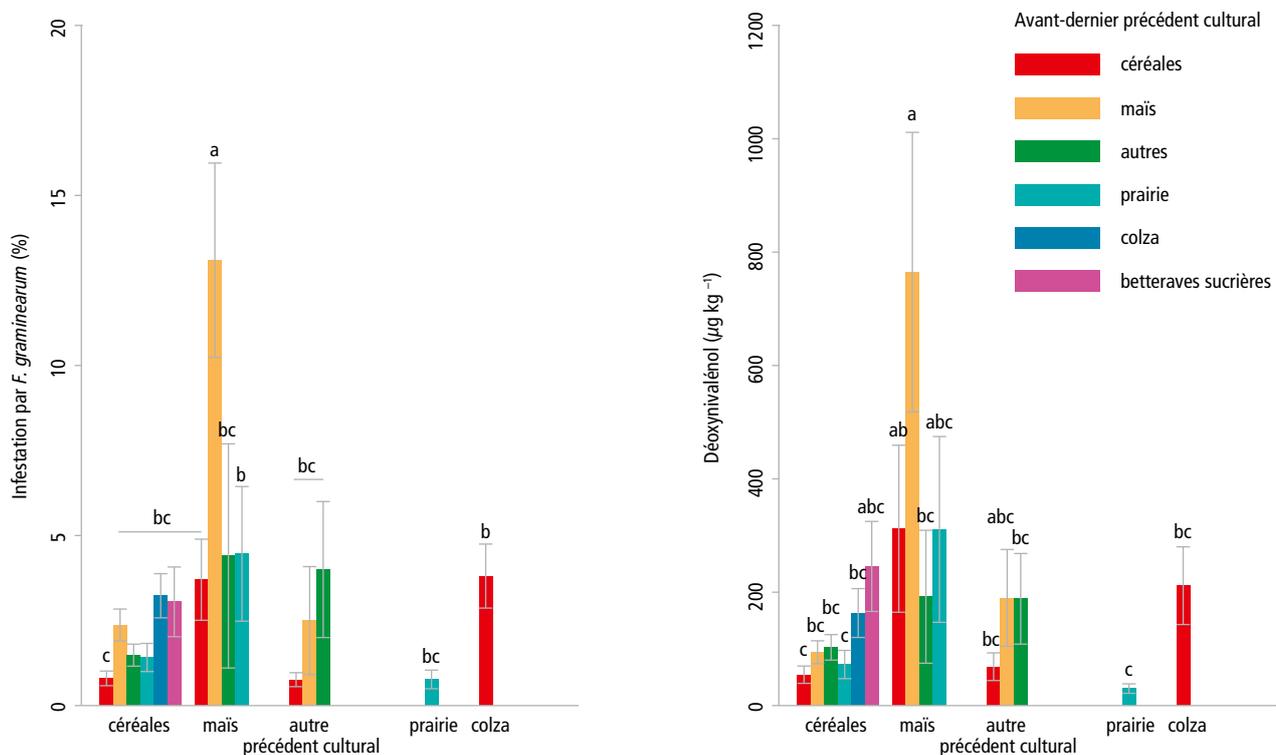
sivement dans les conditions de l'agriculture biologique, ce qui fait que d'autres facteurs (travail du sol, rotation, etc.) pourraient avoir conduit à limiter la contamination. Les variétés d'orge d'automne Meridian et Zoom affichaient le pourcentage d'infestation le plus élevé par FG (5,3% resp. 3,7%) et la contamination la plus forte par DON (300  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ).

Au total, seules quatre variétés (Caravan, Cassia, Meridian et Semper) ont été mises en place dans les trois systèmes de production. Les données doivent donc être interprétées avec prudence. Ces quatre variétés présentaient l'infestation la plus faible par FG et la teneur en DON la plus basse lorsqu'elles étaient cultivées dans les conditions de l'agriculture biologique. Afin de comparer les variétés dans les mêmes conditions culturales, les chercheurs-ses ont étudié des échantillons provenant d'essais variétaux d'Agroscope, mais n'ont pas été en mesure d'observer de différences du fait de l'infestation généralement très faible.

Nos résultats ont montré que le maïs en précédent cultural jouait un rôle clé et favorisait une infection par FG et donc des teneurs en DON plus élevées. Par rapport à d'autres précédents culturaux, la mise en place de maïs avant l'orge a conduit à une infestation par FG (7,3%) et à une teneur en DON (448  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) significativement plus élevées ( $p < 0,001$ ). Le colza en précédent cultural a lui aussi conduit à une infestation par FG significativement plus élevée ( $p = 0,033$  à  $0,002$ ) et à une contamination par DON significativement plus importante ( $p = 0,037$  à  $< 0,001$ ). D'autres études ont montré que FG pouvait survivre de façon saprophyte sur le maïs et le colza et faisait donc office de source d'inoculation l'année suivante (Fernandez 2007; Wegulo 2012). Dans notre monitoring, l'infestation la plus faible (0,8%) et la teneur la plus basse en DON (31  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) ont été mesurées dans des échantillons provenant de cultures avec précédent cultural prairie. Avec d'autres précédents culturaux que le maïs, l'infestation par FG a été réduite de 48 à 89% et la teneur en DON de 53 à 93%.

L'analyse de la rotation a permis de montrer que la combinaison maïs après maïs dans les deux années qui précédent la culture de l'orge entraînait une infestation par FG significativement plus élevée ( $p = 0,042$  à  $< 0,001$ ) par rapport aux autres combinaisons (fig. 2). Les types de rotation qui étaient représentés dans moins de cinq échantillons (16 échantillons) ont été exclus de l'évaluation statistique.

Sans prendre en compte le précédent cultural, les échantillons provenant de parcelles avec labour présentaient une infestation par FG et des contaminations par DON significativement plus basses ( $p < 0,001$ ) que dans les



**Figure 2** | Influence du précédent cultural et de l'avant-dernier précédent cultural sur l'infestation par *F. graminearum* (%) et la teneur en déoxynivalénol (µg kg<sup>-1</sup>) dans les échantillons d'orge suisse en 2013 et 2014. Nombre d'échantillons = 424, barre d'erreur = erreur-type de la moyenne. Les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes. Les combinaisons qui n'apparaissent pas n'ont pas été représentées dans le graphique. Céréales = orge, avoine, épeautre, blé amidonnier, triticale, blé; autres = féveroles, pois, pommes de terre, phacélies, betteraves fourragères, salade, endives, sellerie, jachère, luzerne, tournesol, betteraves sucrières (précédent cultural uniquement), lupins, trèfles (avant-dernier précédent cultural uniquement), riz et soja (avant-dernier précédent cultural uniquement).

parcelles avec travail du sol réduit. Le labour permet d'enfouir les restes de récolte potentiellement infectés, favorise la décomposition par les micro-organismes et limite ainsi le risque d'infection (Pereyra et Dill-Macky 2008). L'analyse de la combinaison précédent cultural – travail du sol a montré qu'avec du maïs en précédent, le labour conduisait à une infestation par FG significativement plus basse ( $p < 0,001$ ). Une teneur en DON significativement plus faible ( $p < 0,001$ ) n'a en revanche été observée que dans les échantillons combinant labour et céréales comme précédent cultural (fig. 3).

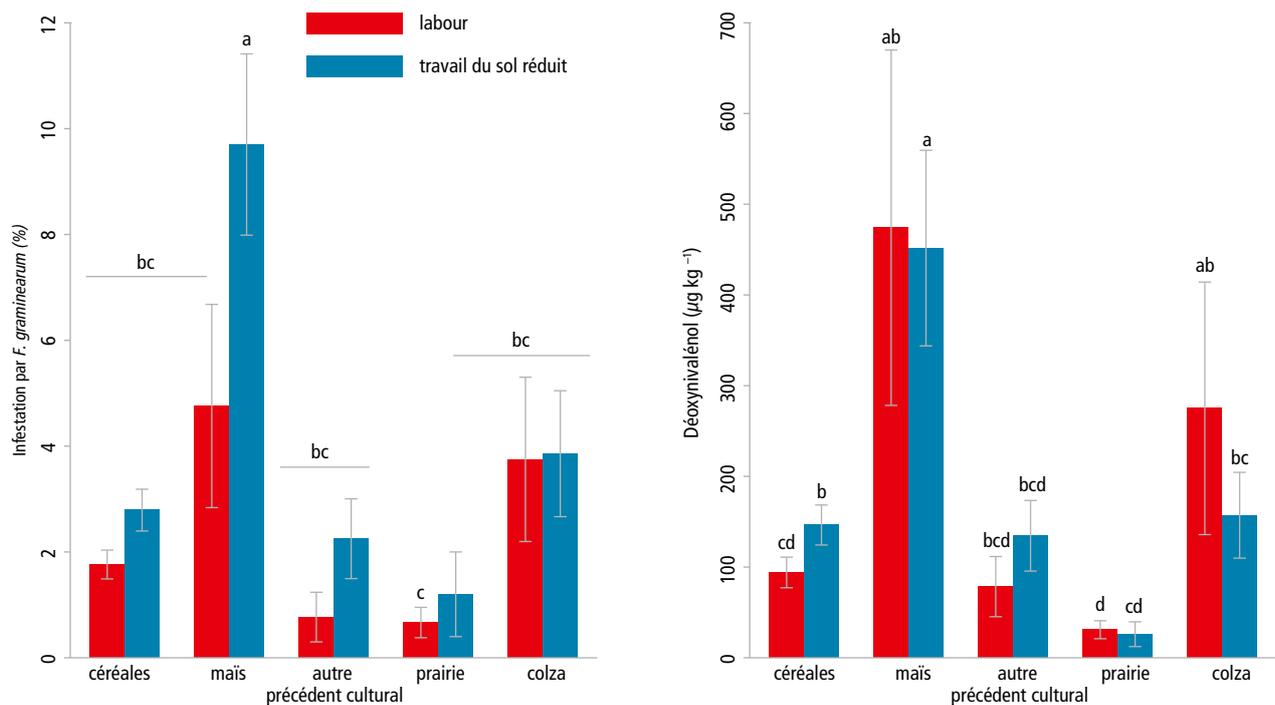
Un broyage supplémentaire des résidus cultureux, par exemple avec la herse à disque ou la fraise, n'a conduit à une baisse significative de l'infestation par FG ( $p = 0,007$ ) et de la teneur en DON ( $p = 0,002$ ) qu'avec du maïs en précédent cultural. Il est probable que l'augmentation de la surface de contact due au broyage mette FG en situation de compétition avec les autres micro-organismes pour l'habitat et les éléments nutritifs. De plus, il est probable que les vers de terre ont mieux exploité les restes végétaux broyés, qu'ils ont donc accéléré la décomposition et réduit le potentiel d'inoculation.

L'emploi de fongicides et de régulateurs de croissance est interdit dans les cultures bio et extenso. L'emploi de fongicides dans les cultures PER a conduit en général à une infestation par FG et une teneur en DON significativement plus élevées ( $p < 0,001$ ), indépendamment de la substance active utilisée (strobilurine, triazole, etc.)

(tabl. 2). L'emploi de régulateurs de croissance a aussi eu pour effet d'augmenter l'infestation par FG et la teneur en DON. Dans les parcelles avec traitement de fongicides ou de régulateurs de croissance, l'infestation par FG et la contamination par DON dépassaient de deux tiers les valeurs des parcelles d'orge non traitées.

Comme il n'existe actuellement aucun fongicide homologué pour la protection des épis d'orge en Suisse, l'emploi de fongicides n'avait probablement pas pour but de lutter contre la fusariose des épis. Le recours aux fongicides avant la floraison pourrait avoir réduit la présence d'autres champignons sur la plante, ce qui a peut-être favorisé l'infection par FG et sa propagation.

L'augmentation de l'infestation par FG et de la teneur en DON suite à l'emploi de régulateurs de croissance pourrait s'expliquer par un changement dans la croissance de la plante. Bernhoft *et al.* (2012) ont déclaré par exemple que les plantes devenaient plus touffues, ce qui conduit à une augmentation de l'humidité et stimule la propagation des maladies. Enfin, la croissance étant réduite, les épis sont plus proches du sol, ce qui favorise une infection par les spores des champignons. Des échantillons prélevés dans des parcelles avec un apport de plus de 100 kg d'azote (N) par hectare avaient en moyenne une infestation par FG plus importante et une teneur en DON plus élevée que les échantillons avec des apports en azote plus réduits. La contamination la plus élevée par DON a été mesurée dans des échantillons avec



**Figure 3 |** Influence du précédent cultural et du travail du sol sur l'infestation par *F. graminearum* (%) et la teneur en déoxynivalénole ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) dans les échantillons d'orge suisse en 2013 et 2014. Nombre d'échantillons = 440, barre d'erreur = erreur-type de la moyenne. Les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes. Précédents culturaux, céréales et autres comme dans la figure 2.

> 200 kg N ha<sup>-1</sup>. L'infestation par FG la plus lourde (5,6%) et la teneur en DON la plus élevée (342  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) ont été constatées dans des échantillons provenant de parcelles utilisant à la fois des engrais organiques et des engrais minéraux. L'infestation par FG (0,4%) et la teneur en DON (36  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) les plus faibles ont été relevées dans des échantillons avec fumure exclusivement organique. Les échantillons sans information sur les apports d'azote (n = 32) ont été exclus de l'analyse, car une culture d'orge à des fins commerciales sans fumure ne semble pas plausible dans la réalité. Des apports élevés en azote peuvent augmenter la sensibilité à la verse et par conséquent favoriser une infection par FG (Bernhoft et al. 2012). De plus, suivant la période où il a lieu, l'apport d'azote peut représenter un stress pour la plante, ce qui augmente d'autant sa sensibilité aux maladies. Nos résultats montrent qu'en suivant les recommandations de fumure actuelles (110 kg N ha<sup>-1</sup> pour l'orge d'automne et 90 kg N ha<sup>-1</sup> pour l'orge de printemps), le risque peut être minimisé. Comme dans le cas de la fumure organique, la quantité d'azote a été calculée à partir des valeurs moyennes des tableaux de fertilisation, et que l'on ne dispose d'aucune information sur l'azote minéral disponible dans le sol, les données doivent être interprétées avec prudence. Nous avons cependant constaté que les apports d'azote étaient inférieurs dans le système Bio et nous supposons que d'autres facteurs, comme un labour plus fréquent et des rotations avec moins de céréales et de maïs en précédents culturaux, ont sans doute conduit à une infestation moindre par FG et à une contamination plus faible par DON.

Dans l'ensemble, les différences venaient non pas du type de système de production lui-même, mais plutôt des modes d'exploitation différents à l'intérieur du système. Comme nos études représentent un instantané de la situation des échantillons d'orge en Suisse et que la pression de la maladie était très faible suite aux conditions météorologiques pendant la floraison des céréales en 2013 et 2014, les facteurs d'influence observés jusqu'ici devraient être étudiés de manière plus approfondie dans le cadre d'autres essais en plein champ. Nous espérons pouvoir ainsi mettre à disposition de la pratique des recommandations en vue d'éviter les fusarioses et les mycotoxines dans l'orge.

## Conclusions

Cette étude a montré qu'à l'intérieur d'un système de culture, différents facteurs pouvaient influencer l'infestation par *F. graminearum*. La culture de maïs avant l'orge devrait être évitée, car celui-ci joue un rôle central dans le cycle de vie de *F. graminearum*. D'autres mesures préventives sont le labour ou le broyage additionnel des restes de récolte en cas de culture précédente d'une plante hôte. L'emploi de fongicides et de régulateurs de croissance ainsi que des apports élevés en azote ont favorisé l'infestation de l'orge. ■

## Remerciements

Cette étude a été financée par le Fonds national suisse dans le cadre du Programme national de recherche 69 «Alimentation saine et production alimentaire» (Projet Heal-ty & Safe). Nous tenons à remercier les services phytosanitaires cantonaux de nous avoir communiqué les adresses, ainsi que les agriculteurs et agricultrices participants d'avoir envoyé leurs échantillons d'orge.

**Riassunto**

**I fattori legati alla coltivazione influenzano il fusarium e le micotossine nell'orzo svizzero**

Dall'analisi di 440 campioni di orzo negli anni 2013 e 2014 e dei rispettivi dati agronomici (varietà, sfruttamento del suolo, avvicendamento delle colture, ecc.) si è evinto che l'insorgenza del fungo *Fusarium graminearum* e della micotossina deossinivalenolo nell'orzo è influenzata da diversi fattori legati alla coltivazione. Onde ridurre il rischio di contaminazione non vanno considerati soltanto singoli fattori ma anche combinazione di quest'ultimi, ad esempio la coltura precedente e lo sfruttamento del suolo. Pertanto per riconoscere i fattori di influenza dovrebbe essere analizzato costantemente l'intero sistema di produzione. Non è decisiva la tipologia del sistema di coltivazione (biologica, estensiva, secondo la prova che le esigenze ecologiche sono rispettate PER) ma le differenze tra i sistemi di coltivazione. L'effetto che più fortemente favorisce la contaminazione è stato mostrato dal mais come coltura precedente. La combinazione con altri fattori, come il ridotto sfruttamento del suolo o la coltivazione di mais in due anni seguenti potenziano questo effetto. Inoltre si è dimostrato che l'orzo primaverile, rispetto a quello autunnale, è stato contaminato in modo meno forte. Nei campioni coltivati senza fungicidi o regolatori della crescita o con concimazione azotata mirata, la contaminazione e le concentrazioni di micotossine erano più esigue.

**Summary**

**Cultivation factors influence *Fusarium* fungi and mycotoxins in Swiss barley**

During a 2-year monitoring we observed that the occurrence of *Fusarium graminearum* and the mycotoxin deoxynivalenol are influenced by several cropping factors. Frequently, not only one but the combination of different factors have to be considered e.g. previous crop and tillage. Thus, the entire cropping system should be taken into consideration to retrieve influencing cropping factors. Not the type of the cultivation system but the differences within the farming system account for the differences. The main influencing factor was the previous crop maize and the combination with other factors like reduced tillage or the cultivation of two years maize in a row enhanced this effect. Additionally we observed that spring barley was less infected compared with winter barley. Samples without an application of fungicides and growth regulators as well as a reduced nitrogen fertilisation showed less infection and contamination with mycotoxins.

**Key words:** cereal, barley, *Fusarium* head blight, *Gibberella zeae*, mycotoxin, tillage, previous crop, monitoring.

#### Bibliographie

- Bernhoft A., Torp M., Clasen P. E., Løes A. K. & Kristoffersen A. B., 2012. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway. *Food Additives & Contaminants: Part A* **29** (7), 1129–1140.
- Czaban J., Wróblewska B., Sulek A., Mikos M., Boguszewska E., Podolska G. & Nieróbca A., 2015. Colonisation of winter wheat grain by *Fusarium* spp. and mycotoxin content as dependent on a wheat variety, crop rotation, a crop management system and weather conditions. *Food Additives & Contaminants: Part A* **32** (6), 874–910.
- Fernandez M. R., 2007. *Fusarium* populations in roots of oilseed and pulse crops grown in eastern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science* **87** (4), 945–952.
- Leslie J. F. & Summerell B. A., 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing, 388 p.
- Musa T., Jenny E., Forrer H. R. & Vogelgsang S., 2011. Fusarien und Mykotoxine bei Körnermais in der Schweiz. *Agrarforschung* **2** (11+12), 520–525.
- Parry D. W., Jenkinson P. & Mcleod L., 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small-grain cereals - a review. *Plant Pathology* **44** (2), 207–238.
- Pereyra S. A. & Dill-Macky R., 2008. Colonization of the residues of diverse plant species by *Gibberella zeae* and their contribution to *Fusarium* head blight inoculum. *Plant Disease* **92** (5), 800–807.
- Schisler D. A., Khan N. I. & Boehm M. J., 2002. Biological control of *Fusarium* head blight of wheat and deoxynivalenol levels in grain via use of microbial antagonists. *Advances in Experimental Medicine and Biology* **504**, 53–69.
- Tateishi H., Miyake T., Mori M., Sakuma Y. & Saishoji T., 2014. Effect of application timing of metconazole on *Fusarium* head blight development and mycotoxin contamination in wheat and barley. *Journal of Pesticide Science* **39** (1–2), 1–6.
- The European Commission, 2006. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuff. 2006R1881-EN-01.09. 2014-014.001-1.
- Vogelgsang S., Jenny E., Hecker A., Bänziger I. & Forrer H. R., 2009. *Fusaria* and mycotoxins in wheat – monitoring of harvest samples from grower's fields [in German]. *Agrarforschung* **16** (7), 238–242.
- Wegulo S., 2012. Factors influencing deoxynivalenol accumulation in small grain cereals. *Toxins* **4** (11), 1157–1180.
- Xu X. M. & Berrie A. M., 2005. Epidemiology of mycotoxigenic fungi associated with *Fusarium* ear blight and apple blue mould: A review. *Food Additives and Contaminants* **22** (4), 290–301.