

# Fusarioses et mycotoxines dans l'ensilage de maïs – résultat d'un monitoring de cinq ans

Andreas Kägi, Fionna Loeu, Tomke Musa, Eveline Jenny, Felix E. Wettstein,  
Thomas D. Bucheli et Susanne Vogelgsang  
Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Andreas Kägi, e-mail: andreas.kaegi@agroscope.admin.ch



Même sans symptômes apparents sur le terrain, les plantes de maïs d'ensilage peuvent être infectées par les fusarioses et contaminées par les mycotoxines. (Photo: Dimitrios Drakopoulos, Agroscope)



Spectre des espèces de *Fusarium* sur les particules de maïs d'ensilage lors du test sanitaire. (Photo: Sonja Eckard, Agroscope)

## Introduction

Les champignons du genre *Fusarium* peuvent infecter toutes les espèces de céréales. L'infection des racines, de la tige et de l'épi du maïs ou des épis de céréales entraîne non seulement des pertes de récolte quantitatives, mais également qualitatives. Suivant l'espèce de *Fusarium*, les mycotoxines produites sont différentes. Même en faibles concentrations, elles représentent généralement un risque considérable pour la santé de l'homme et de l'animal. C'est pourquoi en 2006, la Commission européenne a adopté des valeurs indicatives pour les aliments com-

plets et complémentaires de différents animaux de rente, adoptées un peu plus tard par la Suisse (tabl. 1). Certaines espèces de *Fusarium* peuvent survivre dans les résidus de récolte de maïs et contaminer la culture suivante. Alors que différentes stratégies de lutte contre les infections dans le blé et l'orge, essentiellement dues à l'espèce *Fusarium graminearum*, sont connues (p. ex. Schöneberg *et al.* 2016), la lutte contre ce pathogène est nettement plus difficile dans les cultures de maïs, car la diversité des espèces y est beaucoup plus large. En

Suisse, deux études réalisées sur le maïs-grain (Dorn *et al.* 2009; Dorn *et al.* 2011) ont permis d'identifier jusqu'à 16 espèces de *Fusarium*. Le niveau d'infection annuel a fortement varié selon l'année. Afin de savoir si le mode de travail du sol, l'enfouissement des résidus de récolte et l'assolement avaient également une influence sur l'apparition de la maladie dans le maïs d'ensilage, ces facteurs ont été étudiés dans le cadre d'un programme de protection du sol de cinq ans mis en place par le canton de Berne. D'autres échantillons ont été recueillis avec l'aide du Service de protection phytosanitaire du canton d'Argovie.

Les objectifs de l'étude étaient les suivants: (i) faire l'état des lieux de l'infection par les *Fusarium* et de la contamination par les mycotoxines dans des échantillons de récolte de maïs d'ensilage et (ii) évaluer l'influence des facteurs culturels sur la contamination par les mycotoxines. Le but était d'acquérir des connaissances qui permettent d'établir des recommandations à long terme pour éviter l'infection du maïs d'ensilage par les *Fusarium*.

## Matériel et méthodes

### Prélèvement et traitement des échantillons

Des producteurs de maïs d'ensilage ont été contactés par écrit pour leur demander de nous faire parvenir un échantillon de récolte haché (env. 2 kg). Un questionnaire leur a également été remis afin qu'ils puissent fournir les informations agronomiques nécessaires. De 2010 à 2014, 169 échantillons de maïs d'ensilage au total ont été analysés (89 échantillons en provenance du canton de Berne et 80 échantillons en provenance du canton d'Argovie). Immédiatement après leur réception, les échantillons ont été séchés à 32 °C pendant trois jours. Pour évaluer le taux d'infection par les *Fusarium*, le produit haché d'un échantillon a été divisé en deux. 50 grains et 50 morceaux de tiges ont été analysés pour chaque portion d'échantillon (deux répétitions, soit 200 particules par échantillon). Le traitement des échantillons, le relevé du taux d'infection par les *Fusarium*, la détermination des espèces de *Fusarium* et la mesure de la charge en mycotoxines ont été réalisés selon Eckard *et al.* (2011).

Les échantillons séchés et broyés ont été analysés afin de déterminer les teneurs en mycotoxines suivantes: fumonisines (FUM) à l'aide d'un test enzymatique (ELISA®Ridascreen), toutes les autres toxines, déoxynivalénol (DON), zéaralénone (ZEA) et nivalénol (NIV) par chromatographie en phase liquide associée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS) (Eckard *et al.* 2011). Afin de pouvoir rapporter la teneur en toxines de l'échantillon

### Résumé

Dans le cadre d'un monitoring du maïs d'ensilage sur cinq années (2010–2014) dans les cantons d'Argovie et de Berne, Agroscope a suivi les niveaux d'infection du maïs d'ensilage par les *Fusarium* et sa contamination par les mycotoxines ainsi que l'influence des facteurs culturels sur la maladie comme le précédent cultural, le travail du sol, la variété, la période de semis et de récolte. Sur 169 échantillons de récolte, 167 étaient infectés par les *Fusarium*, à hauteur de 57%. Un large spectre d'espèces de *Fusarium* a été identifié. Dans plusieurs échantillons, des teneurs en toxines supérieures aux valeurs indicatives en vigueur pour l'alimentation animale ont été constatées. Les échantillons provenant de parcelles de maïs d'ensilage avec un travail du sol réduit présentaient une contamination en déoxynivalénol (DON) significativement plus élevée que les échantillons provenant de parcelles labourées. Les échantillons provenant de parcelles où la récolte était tardive présentaient en outre un taux d'infection plus important par *F. graminearum* (FG) ainsi que des teneurs plus élevées en DON et en zéaralénone. Ni le précédent cultural ni les dégâts causés par la pyrale du maïs n'ont eu d'influence significative sur l'infection par les *Fusarium* et la contamination par les mycotoxines. L'année concernée, autrement dit les conditions météorologiques saisonnières, a eu l'influence la plus marquée sur l'infection par les *Fusarium* et la contamination par les mycotoxines. Les essais ont clairement mis en évidence que le semis de variétés précoces ainsi qu'une récolte précoce permettaient de réduire nettement le risque d'infection.

séché au poids frais de l'ensilage de maïs distribué aux animaux, les valeurs de mycotoxines des échantillons séchés ont été corrigées en fonction de la teneur en eau mesurée. Les concentrations des toxines des échantillons au poids frais ont été communiquées aux agriculteurs.

### Analyses statistiques

Les échantillons analysés provenaient de parcelles ayant eu du maïs, des céréales ou une prairie comme précédent cultural et présentant peu de dégâts dus à la grêle. Les échantillons issus de parcelles avec d'autres précé-

dents culturaux ont été regroupés. Les évaluations ont été effectuées avec Sigma-Stat®3.5. L'influence des différents facteurs culturaux sur le taux d'infection par les *Fusarium* et la contamination par les mycotoxines a été analysée à l'aide d'un modèle ANOVA. Les facteurs culturaux suivants ont été pris en compte: précédent cultural (céréales/maïs, prairie ou autre), labour ou semis sous liètière, variété, infestation par la pyrale du maïs ainsi que dates de semis et de récolte. Etant donné l'importante fluctuation de la teneur en eau des échantillons reçus, les évaluations statistiques se sont basées sur les concentrations en toxines dans la masse sèche des échantillons. De plus, la corrélation entre le taux d'infection par les *Fusarium* et la teneur en toxines a été étudiée à l'aide d'une analyse Spearman.

## Résultats et discussion

### Présence de *Fusarium* et de mycotoxines

Le monitoring sur cinq ans et les 169 échantillons de maïs d'ensilage étudiés en provenance des cantons d'Argovie et de Berne ont montré que les pathogènes de l'espèce *Fusarium* et les mycotoxines pouvaient être présents dans la récolte, même en l'absence de symptômes visibles sur la parcelle. Un large spectre contenant au total 13 espèces de *Fusarium* a été identifié. Curieusement, les résultats montrent que les espèces dominantes étaient différentes pour chacune des cinq années d'étude. Hormis deux échantillons, tous les échantillons étaient contaminés par des *Fusarium*. Des mycotoxines ont été identifiées dans les 169 échantillons: DON dans 98%, ZEA dans 87%, NIV dans 72% et FUM dans 92% des

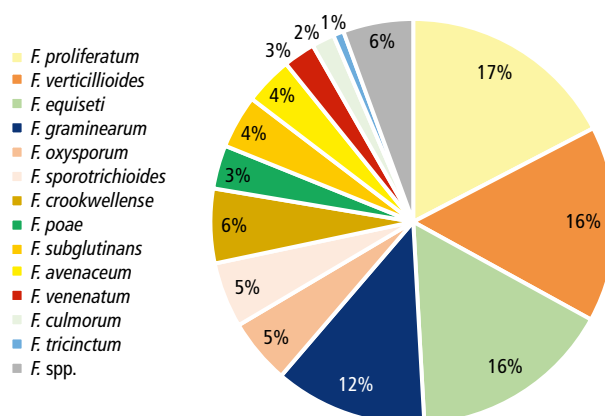


Figure 1 | Pourcentage des différentes espèces de *Fusarium* des particules de fourrage haché atteintes dans tous les échantillons de maïs d'ensilage récoltés de 2010–2014 (n = 169). *F. spp.* signifie espèces de *Fusarium* non identifiées.

échantillons. Le taux moyen de présence de *Fusarium* sur l'ensemble des échantillons était de 10% pour *Fusarium proliferatum*, de 9% pour *F. verticillioides*, de 9% pour *F. equiseti* et de 7% pour *F. graminearum*, sachant que le taux d'infection par les *Fusarium* totales s'élevait à 57% (en moyenne 114 colonies individuelles de *Fusarium* sur les 200 particules de grains et de tiges analysées dans chaque échantillon). La moyenne sur plusieurs années montre que les quatre espèces dominantes représentent 61% de tous les *Fusarium* identifiés sur les particules de fourrage haché infectées (fig. 1).

*Fusarium proliferatum* et *F. verticillioides* peuvent produire des FUM cancérigènes, *F. graminearum* synthétise principalement la toxine DON, cause d'immunodéfi-

Tableau 1 | Valeurs indicatives pour les mycotoxines dans le maïs (aliments complets et complémentaires) et la proportion des échantillons de maïs d'ensilage (%) provenant des années de récolte 2010 à 2014 et ayant dépassé les valeurs indicatives sur la base du poids frais (Commission Européenne 2006).

Toxine	Espèce animale/âge	Valeur indicative (ppb)	Echantillons au-dessus de la valeur indicative (%)					
			2010	2011	2012	2013	2014	Toutes les années
			(n = 40)	(n = 32)	(n = 33)	(n = 33)	(n = 31)	(n = 169)
DON	Porcs	900	22	18	36	24	48	29
	Veaux (< 4 mois), agneaux et chevreaux	2000	12	9	9	6	19	11
	Bétail laitier	5000	0	6	0	0	0	1
ZEA	Porcelets et jeunes truies	100	22	37	69	27	48	40
	Truies et porcs d'engraissement	250	12	9	48	15	32	23
	Veaux, bétail laitier, ovins (y compris agneaux) et caprins (y compris chevreaux)	500	2	9	33	12	16	14
FUM	Porcs, chevaux	5000	0	0	3	0	3	1
	Volaille, veaux (< 4 mois), agneaux et chevreaux	20000	0	0	0	0	0	0

DON: déoxynivaléno, ZEA: zéaralénone, FUM: fumonisines, n: nombre d'échantillons. Il n'y a pas de valeurs indicatives pour le nivaléno.

ciences, mais également la toxine oestrogénique ZEA. *Fusarium equiseti* peut dans certains cas également produire de la ZEA et du NIV. L'évaluation de tous les échantillons a toutefois montré qu'il n'existait pas de corrélation significative ( $p > 0,05$ ) entre les charges en toxines mesurées et le taux d'infection par les espèces de *Fusarium* formant les toxines correspondantes. Cela peut venir du fait que le test sanitaire a porté exclusivement sur les particules de grains et de tiges, alors qu'avec l'analyse des mycotoxines, on a pris en considération sur l'ensemble de l'ensilage, feuilles et rachis compris. Par ailleurs, il existe sans doute des interactions entre les différentes espèces de *Fusarium*, qui peuvent avoir une influence sur la formation des toxines.

Lors du séchage, les échantillons ont perdu en moyenne 60% de leur poids (entre 31 et 78%). Rapportées au poids frais, les concentrations de toxines de plusieurs échantillons dépassaient les différentes valeurs indicatives.

### Dépassements fréquents des valeurs indicatives de mycotoxines

Dans les 169 échantillons de maïs étudiés, les concentrations de mycotoxines dépassaient souvent les valeurs indicatives (tabl. 1). En moyenne des années 2010–2014, 29% des échantillons étudiés dépassaient la valeur indicative de DON en vigueur pour les porcs (900 ppb) et 11% des échantillons dépassaient la valeur indicative en vigueur pour les veaux (2000 ppb). Dans deux échantillons (1%), des contaminations de plus de 5000 ppb de DON (valeur indicative: vaches laitières) ont même été identifiées. En moyenne, 40% des échantillons dépassaient les valeurs indicatives de ZEA en vigueur pour les porcelets (100 ppb), 23% la valeur indicative pour les truies et les porcs à l'engrais (250 ppb) et 14% la valeur indicative pour les vaches laitières (500 ppb), avec toutefois d'importantes fluctuations d'une année à l'autre.

Dans le cas des FUM en revanche, la plupart des échantillons se situaient nettement en dessous des deux valeurs indicatives. Seul un échantillon de l'année 2012 et un de l'année 2014 ont dépassé la valeur indicative de FUM pour les porcs et les chevaux (5000 ppb). La toxine NIV, pour laquelle il n'existe encore aucune valeur indicative, a été identifiée dans 70% des échantillons. Par rapport à DON et à ZEA, NIV est généralement présente en concentrations plus faibles, mais il faut savoir qu'elle est nettement plus toxique que le DON (Ueno 1983).

Il est difficile d'estimer le risque réel encouru par les animaux qui consomment de l'ensilage contaminé, car cela dépend de la proportion de fourrage contaminée sur l'ensemble de la ration affourragée. La fermentation permet certes d'éliminer une grande partie des pathogènes *Fusarium*, mais les mycotoxines, chimiquement stables, demeurent (Mansfield et Kuldau 2007). Des études épidémiologiques montrent que les mycotoxines jouent un rôle important dans l'affouragement (Scudamore et Livesey 1998). Une concentration de 10000 ppb de ZEA dans les aliments destinés aux porcs peut réduire la taille des portées et le poids des porcelets et des concentrations de 50000 ppb de ZEA dans les aliments ont même conduit à des avortements ou à des porcelets mort-nés. Concernant l'effet toxicologique des mycotoxines, il faut aussi souligner que l'interaction de différentes toxines dans un aliment peut avoir d'autres effets (antagonistes, additifs ou synergiques) qu'une toxine seule (D'Mello et al. 1999; Speijers et Speijers 2004).

### Fluctuations annuelles du taux d'infection par les *Fusarium*

Les conditions météorologiques locales sur les différents sites sont importantes pour les échantillons de maïs d'ensilage prélevés dans la pratique, car elles influencent ou occultent souvent l'impact des différents facteurs culturaux.

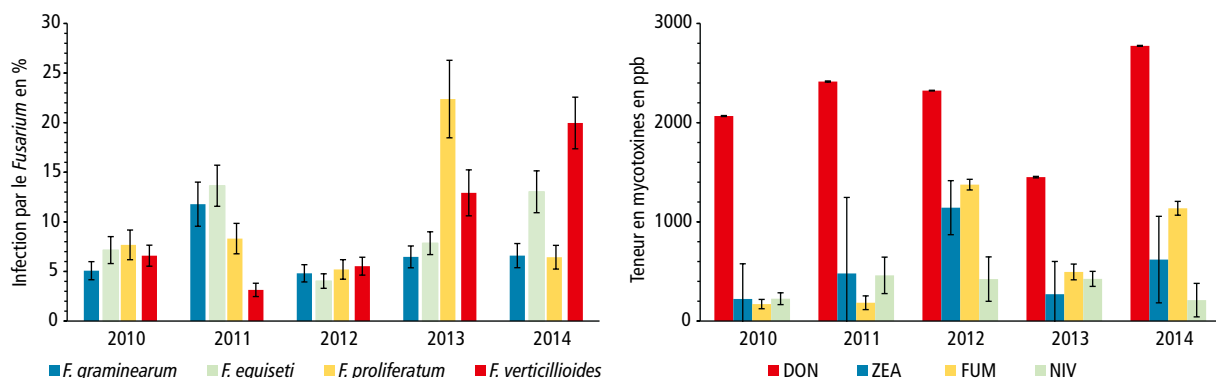
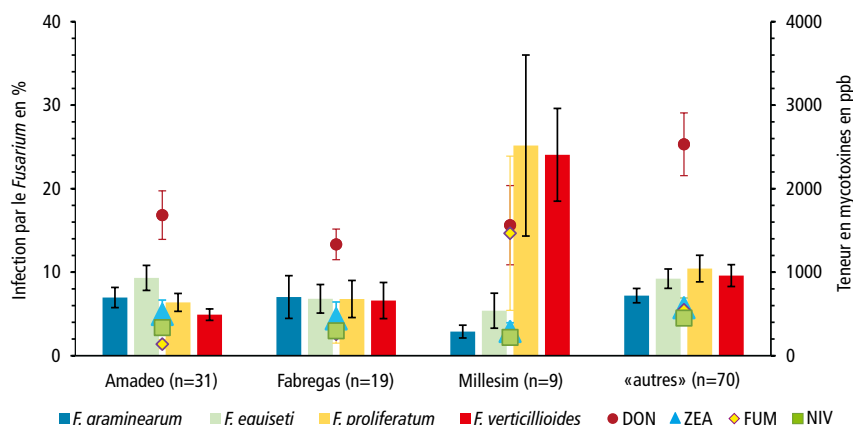


Figure 2 | Infection moyenne des quatre espèces de *Fusarium* les plus fréquentes (à gauche) et charge moyenne en mycotoxines (à droite), déoxynivalénol (DON), zéaralénone (ZEA), fumonisines (FUM) et nivalénol (NIV) pour les échantillons de maïs haché récolté en 2010–2014 (ppb sur la base du poids sec). Les barres d'erreur représentent les erreurs-types des moyennes.



**Figure 3** | Influence de la variété de maïs sur l'infection par les *Fusarium* (%) et les teneurs en toxines (ppb sur la base du poids sec), déoxynivalénol (DON), zéaralénone (ZEA), fumonisines (FUM) et nivalénol (NIV) pour les échantillons de maïs haché récolté en 2010–2014 (n = 129). n: nombre d'échantillons. Les barres d'erreur représentent les erreurs-types des moyennes.

Les fluctuations annuelles des quatre espèces de *Fusarium* les plus fréquentes et des principales mycotoxines sont très marquées (fig. 2). Les échantillons de l'année 2011 étaient caractérisés par une présence significativement supérieure de *F. graminearum* comparée aux années 2010 et 2012 ( $p = 0,016$ ). En 2011 et 2014, l'infection par *F. equiseti* était significativement plus élevée qu'en 2010 et 2012 ( $p < 0,001$ ). Par contre, en 2013 on a enregistré la présence la plus importante de *F. proliferatum* ( $p < 0,001$ ). En 2014, la présence de *F. verticillioides* était significativement plus élevée qu'en 2010, 2011 et 2012 ( $p < 0,001$ ). En 2012, la contamination des échantillons par DON était 30% plus élevée qu'en 2013 ( $p = 0,002$ ) et 45% plus élevée en 2014. En outre, les teneurs en ZEA étaient significativement plus élevées en 2012 qu'en 2010 et 2013 ( $p < 0,001$ ). La contamination moyenne par NIV en 2014 était significativement plus basse comparée aux autres années ( $p < 0,001$ ).

Bien qu'en 2010, les quatre espèces de *Fusarium* les plus fréquentes (*F. proliferatum*, *F. verticillioides*, *F. equiseti* et *F. graminearum*) aient été présentes en proportions quasiment équivalentes, c'est essentiellement la mycotoxine DON qui a été détectée: dans 22% des échantillons, on a mesuré des valeurs de DON supérieures à 900 ppb dans le fourrage frais. En 2011, *F. equiseti* et *F. graminearum* étaient fortement représentés. De nouveau, le DON était la toxine la plus fréquente, mais avec des niveaux de contamination plus faibles: seuls 18% des échantillons dépassaient la valeur indicative DON de 900 ppb. Des valeurs supérieures à 5000 ppb de DON ont été relevées dans deux échantillons.

En 2012, l'infection par les *Fusarium* a été plutôt réduite par rapport aux autres années. Néanmoins, les

contaminations en ZEA étaient étonnamment élevées et 69% des échantillons dépassaient la valeur indicative pour les porcelets et les jeunes truies (100 ppb). Le temps humide aux mois de mai et de juin 2012, avec un taux de précipitations supérieur de 13% par rapport aux autres années, peut expliquer ces valeurs. Un échantillon dépassait la valeur FUM de 5000 ppb (porcs, chevaux).

Les mois de juin et d'août 2013 ont été chauds et secs, avec des températures supérieures en moyenne de 2°C par rapport aux autres années. Parallèlement, les infections par *F. proliferatum* et de *F. verticillioides* ont été significativement plus élevées que les autres années. Ces résultats confirment ceux d'une étude sur le maïs-grain réalisée par Dorn *et al.* (2011), où ces deux espèces de *Fusarium* apparaissaient également de manière plus fréquente dans le cas de températures plus élevées. Toutefois, aucune hausse des valeurs de FUM n'a été enregistrée et les contaminations par DON et ZEA étaient plus basses que les autres années (fig. 2): 24% des échantillons dépassaient la valeur indicative de DON (900 ppb) et 27% celle de ZEA (100 ppb).

La forte contamination par les mycotoxines en 2014 peut être associée aux conditions humides de l'été. En juillet notamment, le canton d'Argovie a enregistré 40% de précipitations en plus et celui de Berne, 54% en plus par rapport aux moyenne pluriannuelle de juillet (enregistrées entre 1981–2010, source: MétéoSuisse). Sur la base du poids frais, près de la moitié des échantillons (soit 48%) ont dépassé les valeurs indicatives de DON et de ZEA. Le mois de septembre sec qui a suivi en 2014, marqué par 83% de précipitations en moins dans le canton de Berne, pourrait expliquer la forte présence de *F. verticillioides*.

### Différences entre les variétés de maïs

La variété de maïs d'ensilage mise en place n'a eu une influence que sporadique sur l'infection par les *Fusarium* et la teneur en toxines. Les variétés comparées sont Amadeo (n = 31), Fabregas (n = 19), Millesim (n = 9) et d'autres variétés rassemblées dans la catégorie «autres» avec chacune des nombres d'échantillons plus réduits (total n = 70; variétés Anjou 290, Aurelia, Benicia, Coximo, Delitop, Gavott, Gottardo, Grosso, Jessy, Laurinio, LG 2253, LG 2280, LG LG 30.218, LG 30.222, LG 32.12, LG 32.20, Marcello, Messago, NK Cooler, P 8000, PR 38Y34, PR 38A24, PR 39F58, Ricardinio, Ronaldinio).

Aucune différence significative entre variétés n'a été constatée par rapport aux teneurs en toxines dans le fourrage à l'état sec (fig. 3). La variété Millesim affichait une infection par *F. proliferatum* qui avait tendance ( $p > 0,05$ ) à être plus élevée que les autres variétés et une infection par *F. verticillioides* significativement supérieure ( $p < 0,001$ ). Des teneurs plus élevées en FUM ont également été relevées, mais variaient fortement. La variété Millesim a notamment été mise en place en 2013 et 2014, années où les conditions météorologiques étaient favorables à *F. proliferatum* et *F. verticillioides* (n = 8).

Le nombre d'échantillons regroupés dans la catégorie «autres» est resté stable pendant les cinq ans du monitoring. Il comprend néanmoins deux échantillons avec des valeurs extrêmes de DON de plus de 10000 ppb, ce qui explique que la moyenne ait tendance à être plus élevée dans ce groupe que pour les autres variétés. L'ensemble des données couvrait un grand nombre de variétés. Quarante échantillons étaient composés d'un mélange de variétés (ces données n'ont pas été analysées). C'est pourquoi le nombre d'échantillons avec une

seule variété était très faible. Par ailleurs, certaines variétés n'étaient pas représentées pendant toute la durée du monitoring. De ce fait et aussi du fait des fluctuations annuelles, il est difficile de trouver une influence significative des variétés sur l'infection par les *Fusarium* et sur la contamination par les mycotoxines.

### Influence du travail du sol et du précédent cultural

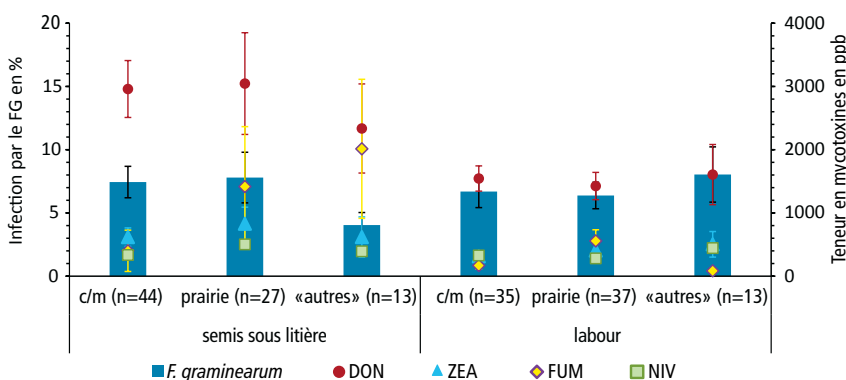
Les échantillons de maïs d'ensilage provenant de parcelles avec semis sous litière (n = 84) affichaient une contamination en DON plus élevée de 48% par rapport aux échantillons provenant de parcelles labourées (n = 85) ( $p = 0,002$ ; fig. 4). Ce résultat reflète celui de diverses études sur les céréales dans lesquelles la culture sans labour a également conduit à des teneurs supérieures en DON (Dill-Mackay et Jones 2000; Schöneberg *et al.* 2016). Les échantillons de maïs d'ensilage provenant de parcelles avec semis sous litière présentaient en revanche des teneurs généralement plus élevées en ZEA, NIV et FUM ( $p > 0,05$ ).

Contrairement à la teneur en DON, la présence de *F. graminearum* dans le maïs d'ensilage ne semble pas être influencée par le travail du sol (fig. 4). Étant donné le petit nombre d'échantillons, il est difficile d'interpréter ce résultat.

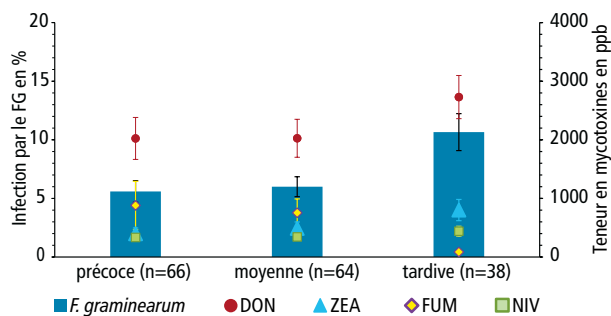
Ni le précédent cultural, ni la combinaison du précédent cultural et du travail du sol n'ont eu une influence significative sur l'infection par le *Fusarium* ( $p > 0,05$ ; fig. 4).

### Influence des dates de semis et de récolte

Les dates de semis et de récolte ont eu des effets significatifs sur le taux d'infection des échantillons par les *Fusarium* et la contamination en toxines. Les dates de semis



**Figure 4** | Influence du précédent cultural et du travail du sol sur l'infection par *Fusarium graminearum* (FG) (%) et la contamination (ppb) par desoxynivalénol (DON), zéaralénone (ZEA), fumonisines (FUM) et nivalénone (NIV) sur la base du poids sec des échantillons de maïs d'ensilage haché, récolté en 2010–2014 (n = 169). c/m = céréales ou maïs en précédent cultural; prairie = prairie temporaire ou permanente; «autres» = colza, petits pois, pommes de terre, betteraves sucrières ou endives. n: nombres d'échantillons Les barres d'erreur représentent les erreurs-types des moyennes.



**Figure 5** | Influence de la date de récolte (précoce = semaines 36–39, moyenne = semaines 40–41, tardive = semaines 42–45) sur l'infection par *Fusarium graminearum* (FG) (%) et la contamination (ppb) par déoxynivalénol (DON), zéaralénone (ZEA), fumonisines (FUM) et nivaléno (NIV) sur la base du poids sec des échantillons de maïs d'ensilage haché, récolté en 2010–2014 (n = 169). n: nombre d'échantillons. Les barres d'erreur représentent les erreurs-types des moyennes.

variaient de précoce (semaine 14) à tardif (semaine 25). Une date de semis précoce (semaines 14–18; n = 71) a eu tendance à entraîner une infection plus importante par *F. graminearum* et une contamination significativement plus élevée par DON (+33%;  $p = 0,042$ ) et ZEA (+41%) ( $p < 0,001$ ) par rapport à une date de semis tardive (semaines 19–25; n = 90).

Les périodes de récolte variaient également entre précoce (semaines 36–39), moyenne (semaines 40–41) et tardive (semaines 42–45). Une période de récolte tardive conduisait à une augmentation significative de l'infection par *F. graminearum* (+47%;  $p < 0,001$ ) et par des contaminations généralement ( $p > 0,05$ ) plus élevées par DON (+26%) et ZEA (+51%) (fig. 5). Un total de 52% des échantillons provenant d'une récolte tardive dépassait la valeur indicative de DON (900 ppb) et 36% la valeur indicative de ZEA (250 ppb) pour les porcs. Dans le cas d'une récolte précoce, seuls 19% des échantillons dépassaient la valeur indicative de DON et 18% celle de ZEA, ce qui peut s'expliquer par le fait que le pathogène a disposé d'un temps de production de toxines plus long entre l'infection et la récolte.

L'infestation par la pyrale du maïs n'avait en général aucune influence significative sur le taux d'infection par les *Fusarium* ou la contamination par les mycotoxines, mais conduisait à une hausse significative de l'infection par *F. proliferatum* dans les échantillons provenant de parcelles sujettes aux dégâts causés par ce ravageur (n = 88;  $p < 0,023$ ), offrant ainsi des voies d'entrée supplémentaires à ce pathogène. Les échantillons de maïs d'ensilage provenant des cantons d'Argovie et de Berne ne présentaient aucune différence en ce qui concerne le taux d'infection par les *Fusarium* ou les charges en toxines.

## Conclusions

Les résultats de ce monitoring du maïs d'ensilage montrent que les mycotoxines de *Fusarium* peuvent également être présentes dans des échantillons pour lesquels aucun symptôme n'est visible sur le terrain. Près d'un tiers des échantillons dépassaient la valeur indicative de DON en vigueur pour les aliments destinés aux porcs (900 ppb) et 40% la valeur indicative de ZEA (250 ppb).

Comme le taux d'infection par les *Fusarium* et la contamination par les mycotoxines dépendent beaucoup des conditions météorologiques, il faudrait pouvoir faire des essais sur plusieurs années avec des conditions culturales prédéfinies en ce qui concerne la variété, le précédent cultural et le travail du sol, mais il faudrait aussi pouvoir se référer à des observations météorologiques afin de pouvoir établir des recommandations relatives à ces facteurs culturaux.

Pour exploiter durablement le sol, il est recommandé d'employer des systèmes culturaux sans labour qui ménagent cette ressource naturelle. Toutefois, le fait de moins enfouir les résidus de récolte peut augmenter le risque d'une infection par les *Fusarium*, entraînant une contamination par les mycotoxines. En conséquence, avec le maïs d'ensilage, l'agriculteur est face à un dilemme: protéger le sol ou risquer d'avoir une récolte chargée en mycotoxines.

Bien qu'il soit prouvé que le précédent cultural influence l'infection des céréales par les *Fusarium*, l'évaluation de ce monitoring du maïs d'ensilage n'a pas montré de relations statistiquement significatives entre le précédent cultural et la contamination par les mycotoxines. C'est sans doute dû au petit nombre d'échantillons et à l'éventail d'espèces nettement plus élevé de *Fusarium* dans le maïs.

Dans le cadre d'un monitoring, il est pratiquement impossible de recommander des variétés de maïs qui soient moins sensibles aux *Fusarium*, car les différentes variétés de maïs ne figurent souvent qu'une à deux années sur la liste des variétés recommandées. A partir de nos résultats, Agroscope préconise toutefois de mettre en place des variétés précoces et également de procéder à une récolte précoce, afin de réduire les risques. ■

### Remerciements

Nous remercions les services cantonaux de protection phytosanitaire de Berne (Programme de promotion des sols) et d'Argovie pour le soutien financier qu'ils ont apporté à cette étude.

## Riassunto

### **Fusarium e micotossine nel mais da silo: risultati di cinque anni di monitoraggio**

Nell'ambito di un monitoraggio quinquennale del mais da silo (2010–2014) condotto nei cantoni Argovia e Berna, Agroscope ha studiato l'infezione da funghi del genere *Fusarium* e il tenore di micotossine nel mais da silo e ha analizzato come i fattori legati alla coltivazione (la coltura precedente, lo sfruttamento del suolo, la varietà e il momento della semina e della raccolta) influiscono sull'infezione. Su 169 campioni di raccolto provenienti dalle aziende agricole, 167 erano colpiti da fusariosi, con una percentuale di infezione media del 57%; del fungo tossigeno è stata riscontrata un'ampia gamma di varietà. In diversi campioni è stato misurato un tenore di tossine superiore ai valori massimi ammessi per gli alimenti per animali. Nei campioni provenienti da campi di mais da silo con ridotta lavorazione del terreno è stato misurato un tenore di deossinivalenolo (DON) significativamente superiore rispetto a quello riscontrato nei campioni provenienti da campi arati. Nei campioni prelevati da campi in cui la raccolta è stata effettuata tardivamente sono stati inoltre rilevati un'infezione di *Fusarium graminearum* (FG) più grave e tenori di DON e zearalenone (ZEA) più elevati. I precedenti colturali e l'infezione di piralide del mais non hanno invece avuto ripercussioni significative sulla fusariosi e sul tenore di micotossine. Il fattore più influente sono le condizioni meteorologiche. Il monitoraggio ha mostrato chiaramente che è possibile ridurre sensibilmente il rischio di infezione e la contaminazione di micotossine con la semina di varietà a raccolta precoce e la raccolta precoce.

## Bibliographie

- Dill-Macky R. & Jones R.K., 2000. The effect of previous crop residues and tillage on Fusarium head blight of wheat. *Plant Disease* **84** (1), 71–76.
- D'Mello J.P.F., Placinta C.M. & Macdonald A.M.C., 1999. *Fusarium* mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare and productivity. *Animal Feed Science and Technology* **80** (3–4), 183–205.
- Dorn B., Forrer H.R., Schürch S. & Vogelgsang S., 2009. *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. *European Journal of Plant Pathology* **125** (1), 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 a multiyear maize hybrid trial and from grower's fields. *Journal of Applied Microbiology* **111** (3), 693–706.
- Eckard S., Wettstein F.E., Forrer H.R. & Vogelgsang S., 2011. Incidence of *Fusarium* species and mycotoxins in silage maize. *Toxins* **3** (8), 949–967.
- Commission Européennes, 2006. Recommendation de la Commission du 17 août 2006 concernant la présence de déoxynivalénol, de zéaralénone, d'ochratoxine A, des toxines T-2 et HT-2 et de fumonisines dans les produits destinés à

## Summary

### **Fusarium species and mycotoxins in silage maize – results of a five-year monitoring programme**

within the context of a five-year silage maize monitoring programme (2010–2014) in the cantons of Aargau and Bern, Agroscope investigated *Fusarium* infection and mycotoxin contamination of silage maize, as well as the influence of cropping factors including variety, previous crop, tillage, and sowing and harvest dates. Out of 169 harvest samples, 167 showed a mean *Fusarium* fungus incidence of 57%. A wide variety of *Fusarium* species was observed; in addition, a number of samples contained mycotoxin levels exceeding the guidance values for feed. Samples from silage maize fields with reduced tillage showed a significantly higher contamination with deoxynivalenol (DON) than samples from ploughed fields. Samples from fields with a later harvest date were more heavily infected with *F. graminearum*, and higher DON and zearalenone levels were observed. In contrast, previous crop and corn borer infestation did not have a significant influence on *Fusarium* infection and mycotoxin concentration, whereas the prevailing weather conditions had the strongest effect on *Fusarium* infection. This study clearly demonstrated that the sowing of early silage maize varieties and early harvesting significantly reduces the risk of *Fusarium* infection and mycotoxin contamination.

**Key words:** *Fusarium*, monitoring, mycotoxin, silage maize, cropping factors, tillage, harvest date.

l'alimentation animale. Accès: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0576&from=DE>.

- Mansfield M.A. & Kuldau G.A., 2007. Microbiological and molecular determination of mycobiota in fresh and ensiled maize silage. *Mycologia* **99** (2), 269–278.
- Schöneberg T., Martin C., Wettstein F.E., Bucheli T.D., Mascher F., Bertossa M., Musa T., Keller B. & Vogelgsang S., 2016. *Fusarium* and mycotoxin spectra in Swiss barley are affected by various cropping techniques. *Food Additives & Contaminants: Part A* **33** (10), 1608–1619.
- Scudamore K. A. & Livesey C.T., 1998. Occurrence and significance of mycotoxins in forage crops and silage: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **77** (1), 1–17.
- Speijers G.J.A. & Speijers M.H.M., 2004. Combined toxic effects of mycotoxins. *Toxicology Letters* **153** (1), 91–98.
- Ueno Y., 1983. Trichothecenes – Chemical, Biological and Toxicological Aspects. Kodansha/Elsevier, Tokyo/Amsterdam. 313 S.
- Vogelgsang S., Jenny E., Hecker A., Bänziger I. & Forrer H.R., 2009. Fusarien und Mykotoxine bei Weizen aus Praxis-Ernteproben. *Agrarforschung* **16** (7), 238–242.