

## Mycotoxines & maïs

# Maîtrise des risques par des

**Les facteurs de production de mycotoxines concernent le champ, les conditions de récolte, pré-stockage, séchage et conservation de la collecte. Les facteurs de risque sont globalement comparables à ceux impliqués pour la culture des céréales à paille. : climat à la floraison et en péri-récolte, enfouissement ou non des résidus de culture, sensibilité des plantes, toxigénicité des champignons éventuellement présents.**

**D**iverses causes interviennent dans la production de mycotoxines au champ. L'examen du cycle évolutif des deux principales espèces de *Fusarium* - *F. graminearum* et *F. moniliforme* (= *F. verticillioides*) - et des relations plante-pathogène, trois éléments jouent un rôle clé dans l'intensité de la production de mycotoxines au champ :

- le climat au moment de l'émergence des soies de l'épi ;
- le mode de traitement des résidus de la culture précédente ;
- le stade et le degré de réceptivité des plantes.

**Il est impératif de maintenir la recommandation d'un labour ou, tout du moins, d'un déchaumage après la récolte.**

Cet article fait suite à une journée thématique organisée par ARVALIS – Institut du végétal, l'INRA et SEPROMA sur le thème « mycotoxines et maïs ». Il s'attache ici à rapporter les éléments présentés par B. NAIBO, F. BENETRIX, J. LORGEOU, X. FOUPELLASSAR et F. FLEURAT – LESSARD sur les facteurs de risque de développement de mycotoxines au champ et au stockage, ainsi que la mise en place d'actions préventives.



### Les facteurs climatiques conditionnent l'importance des attaques

Le climat est le facteur principal qui peut déclencher au champ le développement des champignons, susceptibles de fabriquer des fusariotoxines. De longues périodes humides au moment de la floraison ou de la récolte favorisent cette installation. Pour les principales espèces de *Fusarium*, la présence d'une hygrométrie élevée à ces périodes contribue au développement du champignon sur les épis.

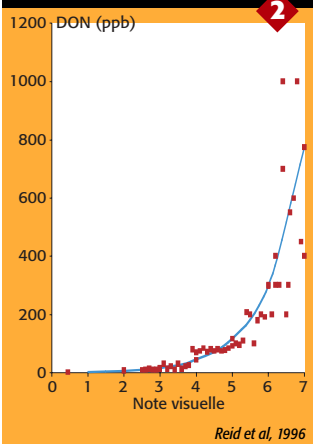
L'épisode climatique après l'émission des soies va jouer sur la prépondérance de l'une ou l'autre des espèces principales : un été à températures modérées et pluviométrie abondante (en durée plus qu'en quantité) est favorable à *F. graminearum*, tandis qu'un été chaud et sec favorisera *F. moniliforme*.

### Attention aux résidus de culture

Les résidus de culture hébergent différents champignons dont le genre *Fusarium*. Diverses expérimentations américaines assez récentes sur les *Fusarium* de

la section *Liseola* (*F. moniliforme*, *F. proliferatum*, *F. subglutinans*) et canadiennes sur *F. graminearum* ont montré que la survie des spores est nettement plus élevée lorsque les résidus de récolte, même broyés, demeurent en surface. En surface, les spores peuvent être viables pendant plus de 20 mois. L'enfouissement des résidus réduit leur viabilité et leur potentiel d'infection. La décomposition des résidus de culture dans le sol avant la mise en place de la culture suivante diminue donc la pression sanitaire, en monoculture comme pour les rotations maïs-blé. Il est donc impératif d'effectuer un broyage, un labour ou, tout du moins, un bon déchaumage après la récolte. Ce principe de base a toujours été recommandé. Il est actuellement mentionné dans la charte de production du maïs grain et du maïs fourrage.

### Relation entre teneurs en DON et notes visuelles sur épis pour des niveaux d'attaque importants



Florence Bénétrix  
f.benetrix@arvalisinstitutduvegetal.fr  
Daniel Bloc  
d.bloc@arvalisinstitutduvegetal.fr  
ARVALIS – Institut du végétal

# stratégies de prévention

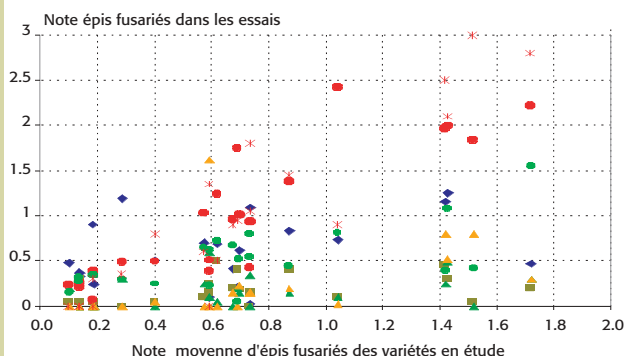
## La sensibilité génétique confirmée

1

La variabilité génétique entre sites a été observée en 2002 dans plusieurs essais du réseau d'essais variétés de maïs en post-inscription. Les symptômes de *Fusarium* sur épis observés en 2002 ont montré qu'il existe une variabilité génétique d'expression de la maladie et une assez bonne répétabilité entre lieux d'essais. La figure 1 montre qu'il faut une forte intensité de symptômes pour différencier des comportements entre hybrides. Par ailleurs, les notations sur les mêmes parcelles et plantes d'épis fusariés et de plantes à tige creuse confirment qu'il n'y a pas de relation entre le pourcentage d'épis fusariés et celui de plantes à tige creuse (figure 1 b), de même que de plantes desséchées.

### Etude de la variabilité génétique et des effets des conditions de culture sur la note de fusariose sur épi en 2002.

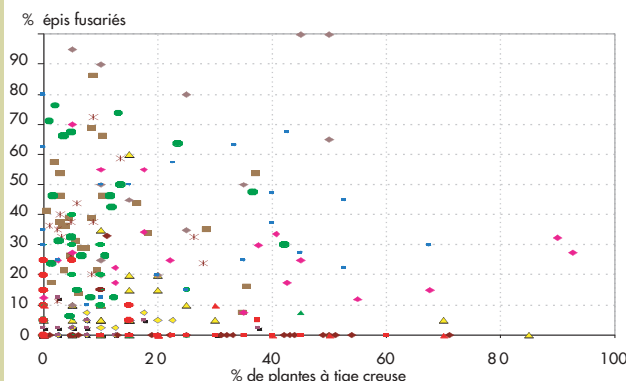
Réseau post-inscription, 7 essais de la série des variétés de mi-tardives.



En abscisse : notes des variétés en étude, obtenues en moyenne sur 7 essais  
En ordonnée : notes obtenues par ces variétés dans chacun des essais représentés par les différents symboles

### Relation entre les pourcentages de plantes à tige creuses et les pourcentages d'épis fusariés.

Réseau post-inscription, séries de maïs grain demi tardifs et tardifs, 2002.



Les points correspondent à des valeurs moyennes par variété et lieu d'essai.  
Les symboles correspondent aux différents lieux d'essais



Tout mettre en œuvre au champ pour préserver la qualité sanitaire.

### Des pistes pour assurer la qualité sanitaire au champ

Plusieurs facteurs liés à la plante interviennent sur le degré de sensibilité aux fusarioses des épis : comportement de l'hybride par rapport au *Fusarium*, lésions dues aux insectes, sensibilité du grain à la fissuration (porte d'entrée pour les champignons).

Les observations réalisées au champ en 2002 montrent qu'il existe des différences entre hybrides une variabilité génétique de la tolérance à *Fusarium* avec une bonne répétabilité (encadré 1 et figures 1 et 1 b).

Une étude canadienne (Reid *et al.*, 1996), conduite pendant 4 années sur 23 hybrides en inoculation artificielle, met en évidence une relation de type exponentiel entre les notes visuelles d'épis (classes 0 à 7) et les teneurs en DON mesurées. Ainsi, à partir de 25 % de grains visuellement atteints, les valeurs de DON augmentent for-

tement. Cette étude aboutit donc à classer les hybrides quant à leur potentiel de développement de mycotoxines (*F. graminearum* / DON) au moyen d'un critère de notation visuelle des symptômes (figure 2). Comme pour de nombreuses maladies du maïs, la variabilité génétique est intéressante à exploiter. Toutefois les liens entre symptômes visuels de maladie au champ et mycotoxines ne sont pas systématiques et conduisent à approfondir les études sur le sujet.

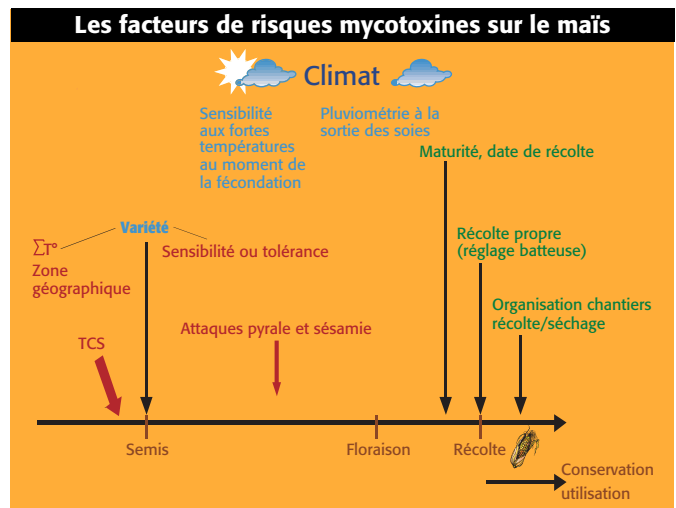
Un programme de recherche réalisé par ARVALIS-Institut du végétal en collaboration avec l'INRA-Bordeaux, faisant intervenir, par infection artificielle sur 2 variétés, deux souches de *Fusarium* présentant un pouvoir toxigène très différent en DON, aboutit aux mêmes conclusions lorsque la souche de *Fusarium* est toxigène. Il ressort que la notation visuelle sur les épis permet d'effectuer des comparaisons entre variétés sur

leur tolérance. Cependant, la toxigénicité de la souche reste déterminante sur la production de mycotoxines.

Rappelons ici que ces conclusions émanent de deux expérimentations conduites sous infestation artificielle, ce qui correspond souvent à des situations extrêmes. Toutefois, comme pour de nombreuses maladies des cultures, les solutions proviendront d'actions conjuguées comme le respect des bonnes pratiques à la production et au stockage (*voir paragraphes suivants*), et des efforts de sélection et de restriction d'utilisation de variétés sensibles, afin de protéger les épis vis-à-vis des *Fusarium* et assurer la qualité sanitaire au champ.

## Les lésions sur les grains constituent des portes d'entrée au champignon

Les galeries de pyrale dans les épis et les grains peuvent favoriser le développement de *Fusarium*, ce qui signifie que la protection de la culture vis-à-vis de la pyrale permet de réduire les risques. La fissuration ou les éclatements des grains sont des défauts qui atteignent les grains de maïs en cours de développement et se traduisent par des fissurations des téguments et/ou de l'albumen, ou des éclatements de grains, engendrant la mise à nu de l'amidon, et favorisant alors l'installation et le développement des spores : les grains fissurés ou éclatés sont ainsi plus souvent fusariés.



Le déterminisme de la fissuration est à la fois environnemental, agronomique et génétique.

## Le battage des grains humides accentue les risques

Les risques d'altération des grains liés aux interactions entre des teneurs en eau du grain à la récolte et le traitement du grain en péri-récolte (battage, préstockage) sont connus, mais méritent d'être rappelés.

La qualité de battage évaluée par le taux de grains entiers (ou brisés) à la sortie de la moissonneuse-batteuse est assez bien corrélée aux teneurs en eau du grain à la récolte. Indépendamment du séchage et de la manutention, le battage de grains trop humides altère la qualité physique des grains, offrant ainsi des portes d'entrée aux moisissures. Par ailleurs, il existe à teneurs en eau du grain élevées des différences d'aptitude au battage entre variétés qui s'expriment par des différences de taux de grains cassés et d'impurétés. Le choix de la précocité adaptée à la faisabilité de la récolte à maturité (date de récolte, qualité de battage) est donc un principe de base à respecter.

À réception, le nettoyage des grains permet d'éliminer les petits grains fusariés, les brisures, les débris de rafle qui sont susceptibles de porter

des moisissures, sources potentielles de contamination au préstockage.

Le préstockage des grains humides est à éviter. Son incidence sur la qualité est généralement sous-estimée. Certaines démarches locales ou régionales portent ainsi sur l'organisation des récoltes et la gestion des collectes afin de réduire les délais entre réception et séchage.

Les leviers qui permettent de préserver les atouts qualitatifs du maïs ne s'arrêtent pas au champ, ni en pré-récolte. Les opérations de séchage et stockage peuvent aussi avoir une incidence sur la qualité sanitaire des grains.

## Ventiler, ventiler, ventiler

Après la récolte, tant que l'activité de l'eau (*aw*) du grain en attente du séchage reste à un niveau élevé, la production de fusariotoxines reste potentiellement active. L'abaissement de l'*aw* au moment du séchage inhibe le développement des espèces fusariennes de la flore du champ qui sont hygrophiles. Par contre, si les espèces fusariennes ont déjà développé au champ des fusariotoxines, ces dernières restent présentes car elles sont résistantes à la chaleur sèche. Leur teneur varie peu au cours du séchage.

Ensuite, au cours du stockage, les moisissures xérotolérantes de la flore de stockage

## Des molécules résistantes aux process de transformation

2

À la première transformation du maïs, il est rapporté par plusieurs auteurs qu'au cours du fractionnement par voie humide du maïs (amidonnerie), la majorité du DON se retrouve dans l'eau de trempage (40 à 50 %) et les fibres (28 à 38 %). La fumonisine B1 (FB1) et la zéaralénone (ZEA), qui sont moins hydrosolubles, se retrouvent principalement dans le gluten (37 à 42 % pour la FB1 et jusqu'à 56 % pour la ZEA) et les fibres (19 à 41 % pour la FB1 et 15 à 19 % pour la ZEA). Par contre, au niveau de l'amidon, on n'observe quasiment pas de détection de FB1 et de ZEA dans l'amidon issu du process humide. Dans le cas de processus de fractionnement à sec du maïs (semoulerie), il est rapporté une concentration de FB1 dans le germe et le son (3 fois la teneur moyenne dans le grain), la plus faible teneur étant observée dans les grits utilisés pour la fabrication de la bière (teneur 12 à 15 fois inférieure à celle du grain

entier). Les farines étant moyennement contaminées (25 à 50 % de la teneur dans le grain). Avec certains procédés de fabrication des aliments comme l'extrusion de grits de maïs pour la fabrication de snacks et produits à grignoter, la diminution de la teneur en FB1 observée peut aller jusqu'à 70 %. La cuisson à l'huile (180 °C pendant 6 mn) modifie peu la teneur en FB1, ainsi que l'appertisation, ce qui confirme la thermostabilité remarquable de la FB1. Au cours de la préparation d'aliments à base de maïs, par exemple la cuisson à l'eau de chaux des tortillas à haute température (nixtamalisation), la réduction de la teneur en FB1 dépasse 80 %. En conclusion, on peut retenir que les mycotoxines sont des molécules très stables et résistantes aux process classiques de transformation. Elles sont majoritairement plus concentrées à la périphérie des grains.

Francis FLEURAT - LESSARD, 2003

**Des mesures de prévention simples**

**3**

La maîtrise de la qualité sanitaire concerne tous les acteurs, du champ jusqu'à la mise en marché. Des actions préventives existent déjà pour limiter le développement des champignons ainsi bien au champ que lors du stockage.

**• Broyer et enfouir les résidus de la récolte précédente**

La lutte préventive consiste en un broyage fin des résidus de cultures juste après la récolte, suivi d'un enfouissement superficiel. Cette solution est préférable à un broyage sous les becs cueilleurs de la moissonneuse-batteuse. Il sera en outre d'autant plus efficace au plan agronomique, sanitaire et environnemental que les résidus seront rapidement incorporés au sol.

**• Choisir des variétés bien adaptées au milieu**

Les premières préconisations dans le cycle de la culture reposent sur le choix de variétés bien adaptées aux conditions pédo-climatiques locales. L'objectif est de permettre une récolte à maturité dans des conditions optimales, et pour une date de récolte qui autant que possible ne dépasse pas le 1<sup>er</sup> novembre.

**• Faire un diagnostic des parcelles avant la récolte**

Un diagnostic précoce au champ permet de prévoir des récoltes anticipées de certaines parcelles avant le développement de champignons.

**• Récolter proprement et en respectant les grains**

Plus la récolte sera propre (pas d'impuretés, peu de grains cassés) et meilleure sera sa qualité car on sait que les mycotoxines sont essentiellement concentrées dans les brisures, les poussières et débris de culture. Le réglage des moissonneuses-batteuses doit donc être particulièrement soigné.

**• Coordonner la récolte et la collecte**

Le rythme des chantiers de récolte doit être en phase avec celui de la collecte et du séchage pour éviter le préstockage en tas des grains humides (délai récolte – séchage < 24 heures). Un nettoyage des grains avant ou après séchage est aussi fortement recommandé.

**• Refroidir les grains stockés**

Lors du stockage des grains, la qualité sera d'autant mieux préservée que le grain sera convenablement séché (humidité de 15 %) et refroidi pour éviter toutes activités biologiques parasites. Le risque, si ces conditions n'étaient pas rapidement réunies, serait de voir se développer une flore de stockage qui est parfois à l'origine de production de mycotoxines.

➔ (en particulier les genres *Aspergillus* et *Penicillium*), peuvent éventuellement se développer à la faveur de conditions de conservation mal maîtrisées ; par exemple, dans des zones de la masse des grains stockés les plus exposées aux transferts d'humidité (interface grain-paroi métallique, grain-sol ou grain-air humide). Bien que la majorité des moisissures de stockage ne soit pas

**Le préstockage humide des grains est à éviter.**

toxigène, certaines espèces comme *P. verrucosum* peuvent produire en conditions de climat tempéré de l'ochratoxine A, si la maîtrise des conditions de conservation (teneur en eau et température des grains) et de l'homogénéité de ces conditions dans l'ensemble de la masse ne sont pas respectées. La ventilation de refroidissement des stocks, élément majeur de maîtrise, a plusieurs effets favorables :

- en abaissant la température du grain au-dessous de 10 °C, le maïs est à l'abri du développement des moisissures thermophiles comme *Aspergillus flavus* et *A. ochraceus*, espèces de moisissures qui produisent respectivement l'aflatoxine B1 et l'OTA ;
- la ventilation des masses de grain stockées limite les phénomènes de transfert hydrique et thermique et la création de gradients d'humidité propices au développement de moisissures de stockage ;
- d'une façon générale, la croissance des moisissures est plus

lente lorsque la température est basse (le risque de production de mycotoxines décroît en parallèle).

Les conditions de stockage en France sont plus favorables à la maîtrise des moisissures de stockage que celles de certains pays à climat plus chaud.

Au cours des opérations de nettoyage avant transformation, les lots de céréales peuvent être partiellement débarassés des grains les plus contaminés par tamisage et séparation densimétrique, les grains les plus atteints ayant une masse volumique et une taille plus faible que les grains sains (effet de l'échaudage du à une forte attaque de fusariose au champ) ; le tamisage et le nettoyage mécanique des grains de maïs pourraient réduire jusqu'à 60 % les teneurs en certaines mycotoxines.

La préoccupation sanitaire tient une place importante dans les liens qui unissent les acteurs de la filière jusqu'aux agriculteurs. La maîtrise des risques d'apparition des mycotoxines relève essentiellement de stratégies de prévention. ■

**L'enfouissement rapide des résidus de récolte broyés constitue une mesure efficace de prévention.**



(1) Activité de l'eau : c'est la disponibilité en eau d'une substance qui est ici utilisée pour exprimer les besoins du champignon. Plus l'aw est faible, moins il y aura d'eau disponible pour la croissance du champignon