

# Les fusariotoxines : comment limiter leur présence dans les ensilages et leur impact chez les ruminants ?

V. Niderkorn<sup>1,2</sup>, H. Boudra<sup>1</sup>, D.P. Morgavi<sup>1</sup>

**La contamination des ensilages par les fusariotoxines intervient au champ, en dehors de tout problème de conservation. Les conséquences économiques et sanitaires d'une exposition des animaux d'élevage à ces mycotoxines justifient l'application rigoureuse des moyens de prévention disponibles et la recherche de nouvelles stratégies de détoxification.**

## RÉSUMÉ

*La contamination des fourrages au champ par les moisissures du genre Fusarium et la possible production de fusariotoxines (trichothécènes, zéaralénone, fumonisines, ...) sont étroitement liées aux conditions climatiques. Bien qu'encore mal évaluée, leur présence dans les ensilages en concentrations variables est régulièrement observée. Des teneurs trop élevées de fusariotoxines peuvent entraîner une altération des performances zootechniques et des effets sur la santé des animaux. Actuellement, l'application de techniques agronomiques visant à limiter le niveau de contamination des végétaux par les Fusaria est la seule méthode efficace pour réduire l'exposition des animaux aux fusariotoxines. De nouvelles stratégies de prévention et de détoxification sont nécessaires pour compléter ces mesures.*

## MOTS CLÉS

Bovin, champignon phyto-pathogène, ensilage, équin, fourrage, *Fusarium*, maïs, mycotoxine, ovin, production animale, stade de récolte, toxicité.

## KEY-WORDS

Animal production, cattle, cutting stage, forage, forage maize, *Fusarium*, horses, mycotoxins, plant parasitic fungus, sheep, silage, toxicity.

## AUTEURS

1 : I.N.R.A., Unité de Recherche sur les Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle ; vni-derk@clermont.inra.fr ; hboudra@clermont.inra.fr

2 : Lallemand SAS, 19, rue des Briquetiers, BP 59, F-31702 Blagnac

## Introduction

Les ensilages de maïs, de légumineuses et de graminées représentent aujourd'hui la part la plus importante de l'alimentation des ruminants en Europe et en Amérique du Nord. La production d'ensilage permet aux éleveurs de disposer tout au long de l'année d'aliments à forte valeur énergétique et bien consommés par les ruminants. La popularité de l'ensilage a ainsi fortement augmenté ces dernières décennies, notamment dans les régions de production intensive de lait et de viande bovine. En France, environ 1,4 millions d'hectares en culture de maïs fourrager, soit 16 millions de tonnes de matière sèche, sont disponibles pour l'affouragement hivernal et estival des troupeaux (campagne 2005, source SCEES). Près de 80% des vaches laitières en consomment pendant tout ou partie de l'année. On estime à 10-15% la part de la production totale d'herbe valorisée sous forme d'ensilage, soit 2,5 millions de tonnes de matière sèche. La qualité du stock fourrager conditionnant une année de performance, la valeur nutritionnelle et la qualité sanitaire des ensilages sont de toute première importance.

Parmi les facteurs affectant la qualité sanitaire des récoltes, **la contamination des végétaux au champ par les moisissures du genre *Fusarium* est particulièrement difficile à maîtriser**. Ces moisissures peuvent, dans certaines conditions, produire des fusariotoxines dont **la présence dans les ensilages intervient indépendamment de la qualité de la conservation**. Les recherches de mycotoxines dans les ensilages ont été focalisées jusqu'à maintenant sur les mycotoxines de conservation, principalement les aflatoxines ou l'ochratoxine A. Cependant, les données disponibles montrent que la présence de fusariotoxines est fréquente à des niveaux variables selon les régions et les années de récolte (WHITLOW *et al.*, 1998).

Les conséquences économiques liées aux pertes de productivité et aux effets sur la santé des troupeaux sont difficiles à évaluer, mais peuvent être potentiellement importantes si de fortes concentrations de fusariotoxines sont présentes dans la ration. Puisqu'il est impossible d'agir sur les conditions climatiques qui conditionnent le niveau de contamination des végétaux, il est essentiel pour les producteurs d'ensilage de connaître les moyens à leur disposition permettant d'en limiter l'ampleur.

Cet article aborde les conditions de production des fusariotoxines au champ, les teneurs observées dans les ensilages, les effets d'une exposition importante sur la santé des animaux, ainsi que les moyens de prévention et de détoxification disponibles ou en développement.

## 1. Présence et devenir des fusariotoxines dans les ensilages

### ■ Principales espèces productrices et fusariotoxines associées

Les moisissures appartenant au genre *Fusarium* sont des champignons microscopiques (micromycètes) phytopathogènes. Leur dissémination est assurée par des spores, les microconidies ou

macroconidies selon les espèces, présentes dans le sol, les débris végétaux et les graines. Les fusariotoxines sont des composés chimiquement et thermiquement stables issus du métabolisme secondaire des *Fusaria*. Elles sont produites essentiellement sur les céréales en cas de fusariose mais aussi en l'absence visible de *Fusarium*. Une même espèce peut produire plusieurs mycotoxines et une même mycotoxine peut être produite par plusieurs espèces de moisissures (tableau 1). Cependant, **si la fusariose provoque de fortes pertes de rendement, elle n'entraîne pas obligatoirement la présence massive de fusariotoxines** puisque certaines espèces comme *Microdochium nivale* sont incapables d'en produire et que les souches toxigènes n'expriment pas toujours leur potentiel.

Parmi les nombreuses fusariotoxines identifiées, les **trichothécènes** constituent un groupe d'environ 200 composés dont les principaux sont le **déoxynivalénol ou vomitoxine** (DON), le nivalénol (NIV), le diacétoxyscirpénol (DAS) et les toxines T-2 et HT-2. Le DON est très fréquemment retrouvé dans les fourrages et les grains de céréales. La **zéaralénone** (ZEN) et le **groupe des fumonisines** constituent les autres fusariotoxines majeures. *Fusarium moniliforme* est le principal agent pathogène du maïs si bien que les fumonisines, produites par cette espèce, sont souvent retrouvées sur cette plante. D'autres fusariotoxines comme la moniliformine, les fusarines et l'acide fusarique peuvent également être synthétisées au champ mais elles semblent moins importantes en termes de fréquence de contamination et d'impact toxicologique sur les animaux.

TABLEAU 1 : Effets des fusariotoxines majeures sur les performances et la santé des ruminants.

TABLE 1 : Effects of main fusariotoxins on ruminants' performances and health.

### ■ Conditions du développement des *Fusaria* et de la production de fusariotoxines

Comme les autres espèces fongiques, la croissance des *Fusaria* est principalement sous l'influence de la teneur en eau disponible dans le milieu, de la température, de l'environnement gazeux et de la présence d'autres micro-organismes avec lesquels ils sont en compétition (BOUDRA *et al.*, 2002).

Fusariotoxine	Principales espèces productrices	Espèce animale	Effets sur les différentes espèces animales	Référence
Déoxynivalénol	<i>F. graminearum</i> (+), <i>F. culmorum</i> (+)	Bovins, ovins	Refus d'ingestion, immuno-dépression, baisse de production*	SEELING et DANICKE, 2005
Diacétoxyscirpénol	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>	Bovins	Refus d'ingestion, diarrhées, lésions gastro-intestinales, baisse de production*	D'MELLO <i>et al.</i> , 1999
Toxines T-2 et HT-2	<i>F. sporotrichioides</i> <i>F. poae</i> (+)	Bovins	Effets similaires au déoxynivalénol	PIER <i>et al.</i> , 1980
		Bovins	Irritation et hémorragies du tractus gastro-intestinal	PIER <i>et al.</i> , 1980
Zéaralénone	<i>F. graminearum</i> <i>F. culmorum</i>	Vaches laitières	Hyperœstrogénisme, infertilité, avortements, baisse de production*	WEAVER <i>et al.</i> , 1986
		Brebis	Infertilité, désordres reproductifs	SMITH <i>et al.</i> , 1990
Fumonisines	<i>F. moniliforme</i> <i>F. proliferatum</i>	Chevaux	Leucoencéphalomalacie	ROSS <i>et al.</i> , 1991
		Agneaux	Lésions hépatiques	EDRINGTON <i>et al.</i> , 1995
		Bovins	Peu d'effet	OSWEILER <i>et al.</i> , 1993

(+) Espèces responsables de fusarioses  
\* Réduction de la production de lait chez les vaches laitières

**La contamination du maïs par les *Fusaria* est étroitement liée à la pluviométrie**, notamment dans les sept jours précédant l'épiaison et dans les cinq à dix jours suivant l'émergence des épis. Les intempéries (vent, pluie, grêle), les rongeurs, les insectes et, plus généralement, tous les facteurs de stress et d'atteinte à l'intégrité des végétaux favorisent la pénétration et l'implantation des spores de *Fusarium*. **La production des fusariotoxines dépend principalement de la température**. L'alternance de conditions climatiques froides et douces est généralement associée à la production des trichothécènes et de ZEN. Plusieurs espèces peuvent produire des fusariotoxines à une température proche de zéro. Les années chaudes et sèches peuvent provoquer un stress hydrique et seraient plus favorables à la production de fumonisines que les années froides. La variabilité des conditions de production des fusariotoxines montre que, dans une même zone géographique, chaque année peut fournir des profils de contamination différents. L'amélioration des connaissances des facteurs écologiques et climatiques qui prédisposent à la contamination par *Fusarium* et à la production de fusariotoxines permet aujourd'hui de mieux évaluer le risque dans une région et une année donnée.

Les fusariotoxines sont **également présentes dans l'herbe**. En Nouvelle Zélande, la ZEN est fréquemment retrouvée en automne dans la flore des pâturages à des niveaux élevés et a été associée à des troubles de la reproduction chez les ruminants (TOWERS et SPROSEN, 1993).

## ■ Devenir des fusariotoxines lors du processus d'ensilage

La contamination des produits d'origine végétale destinés à l'alimentation animale peut intervenir au champ, durant leur conservation ou leur utilisation. Cependant, **dans les ensilages correctement réalisés et stabilisés, les *Fusaria* ne sont plus dans des conditions favorables à leur croissance**. Bien que la teneur en eau, la température et l'acidification du milieu ne soient pas des freins à leur développement, le niveau de confinement (anaérobiose) et la présence d'espèces concurrentes empêchent tout développement des *Fusaria*. Dans un ensilage réalisé dans de mauvaises conditions, les *Fusaria* sont supplantés par d'autres espèces fongiques à développement luxuriant comme les *Aspergilli* et les *Penicilli*. Il n'en reste pas moins que **les fusariotoxines préformées sont présentes à la mise en silo**. Un exemple a été rapporté dans lequel la présence de fusariotoxines dans un ensilage sans contamination fongique visible, avec une bonne couleur et une bonne odeur, a été identifiée comme la cause de troubles chez un troupeau de vaches laitières (RANKIN et al., 2002).

Les études sur l'effet du processus d'ensilage sur le contenu en fusariotoxines montrent généralement que celles-ci ne sont pas ou peu dégradées. Ainsi, la teneur en ZEN d'un ensilage de maïs naturellement contaminé à 13 ppm s'est révélée stable durant 12 semaines de conservation (LEPOM et al., 1988). Une stabilité comparable de la ZEN a été observée en absence ou en présence de conservateur (OLDENBURG, 1991). Les données semblent plus contradictoires pour le DON (LEPOM

Substrat ensilé	Fusariotoxine <sup>(1)</sup>	Echantillons positifs (% et (n))	Concentration (µg/kg)		Référence
			Min - max	Moyenne <sup>(2)</sup>	
<b>Maïs</b> (récolte 1995)					
- Epis	ZEN	8 (170)	9 - 170	50	OLDENBURG <i>et al.</i> , 1996
- Reste de la plante	ZEN	98 (298)	5 - 2 970	390	
	DON	92 (60)	120 - 3 510	1 130	
<b>Maïs</b> (récolte 1996)					
- Epis	ZEN	16 (100)	7 - 100	30	OLDENBURG, 1997
- Reste de la plante	ZEN	76 (299)	6 - 820	60	
	DON	100 (58)	730 - 12 390	4 070	
<b>Maïs</b>					
- Feuilles	DON	83 (6)	260 - 2 550	930	LEW <i>et al.</i> , 1997
- Tiges	DON	100 (6)	3 250 - 13 750	8 690	
<b>Maïs</b>	ZEN	30 (487)		525	WHITLOW <i>et al.</i> , 1998
	DON	66 (778)		1 990	
	Toxine T-2	7 (717)		569	
	Fumonisinés	37 (63)			
<b>Maïs</b>	FB <sub>1</sub>	97 (89)		615	KIM <i>et al.</i> , 2004
	FB <sub>2</sub>	72 (89)		93	
	FB <sub>3</sub>	57 (89)		51	
<b>Ray-grass</b>	ZEN	67 (832)	40 - 2 780 <sup>(3)</sup>		ENGELS et KRÄMER, 1996

1 : DON (déoxinivalénol), ZEN (zéaralénone), FB<sub>1</sub>/FB<sub>2</sub>/FB<sub>3</sub> (fumonisines B<sub>1</sub>/B<sub>2</sub>/B<sub>3</sub>)  
2 : Moyenne des échantillons positifs  
3 : Valeurs sur matière sèche

TABLEAU 2 : **Concentrations de fusariotoxines observées dans les ensilages de maïs et d'herbe.**

TABLE 2 : *Fusariotoxin concentrations observed in maize and grass silages.*

*et al.*, 1990 ; MANSFIELD *et al.*, 2005). D'une manière générale, le nombre d'études sur la stabilité et les conditions d'une éventuelle dégradation des fusariotoxines lors de la conservation est encore insuffisant. Les enquêtes disponibles sur la contamination des ensilages semblent néanmoins montrer que **les fusariotoxines sont régulièrement présentes dans les ensilages de maïs et d'herbe à des niveaux pouvant être élevés** (tableau 2). **Le DON est souvent considéré comme un indicateur de contamination** : sa présence laisse supposer la présence d'autres fusariotoxines. Là encore, les données sont encore fragmentaires, notamment en ce qui concerne les ensilages de légumineuses et de graminées pour lesquelles les études sont quasiment inexistantes.

## 2. Conséquences de la présence de fusariotoxines dans les ensilages

### ■ Conséquences économiques

La fusariose, maladie qui affecte essentiellement les céréales (blé, maïs), peut provoquer des pertes pouvant atteindre 50% de la récolte. Mais, **même en absence de dégâts apparents**, les fusariotoxines peuvent être présentes dans les fourrages ensilés et entraîner des pertes économiques dues à **une diminution des performances zootechniques** (diminution de la production laitière et/ou du gain de poids, infertilité, cycles de sélection manqués) et à divers coûts supplémentaires (analyse des aliments, frais vétérinaires, utilisation d'additifs). Ces pertes sont difficiles à évaluer car les conséquences de la présence de fusariotoxines dans l'alimentation animale ne sont pas toujours clairement identifiées et pourraient donc être sous-estimées.

## ■ Effets des fusariotoxines sur les performances et la santé des ruminants

Les conséquences d'une contamination par les fusariotoxines peuvent être également sanitaires puisque ces mycotoxines sont dangereuses pour l'animal. **Les ruminants apparaissent cependant plus résistants aux effets des fusariotoxines** que les animaux monogastriques, notamment le porc. Cette moindre sensibilité est attribuée à la capacité de l'écosystème microbien du rumen à métaboliser partiellement bon nombre de ces mycotoxines (DON, DAS, toxines T-2 et HT-2, ZEN). Cependant, le taux de conversion dépend du type de fusariotoxine et du temps de séjour des aliments dans le rumen.

Bien que le problème soit moins prégnant que pour d'autres espèces animales, des effets sur la productivité et, plus rarement, sur la santé des ruminants peuvent être observés (tableau 1). Au-delà des effets spectaculaires des mycotoxicoses, **les conséquences de l'ingestion prolongée de faibles doses de fusariotoxines et les effets synergiques avec d'autres mycotoxines ou agents pathogènes doivent être considérés**. Or, bien que la réalité de ce contexte soit établie, ses conséquences sont encore mal connues. Le diagnostic n'est pas toujours facile car **les symptômes peuvent être de nature secondaire comme des infections opportunistes dues au caractère immunodépresseur de la majorité des fusariotoxines**. De plus, les effets de ces mycotoxines sont modulés par des différences de sensibilité selon l'espèce, l'âge, le sexe, le type de ration, le niveau de production imposé et l'état de santé des animaux.

La fixation de concentrations sécuritaires est donc assez aléatoire. Cependant, des recommandations de la commission européenne relatives à la présence des fusariotoxines majeures dans les produits destinés à l'alimentation animale sont désormais disponibles (recommandation 2006/576/CE du 17 août 2006). Les teneurs maximales recommandées tiennent compte essentiellement du type d'aliment et de la sensibilité des différentes espèces animales.

## ■ Transfert dans les produits animaux

Les fusariotoxines subissent successivement des biotransformations par les micro-organismes du rumen, puis par différents systèmes enzymatiques du tube digestif et du sang qui modifient leur toxicité et déterminent leurs modes d'excrétion. Le passage de résidus dans les produits animaux est un aspect crucial en termes de sécurité alimentaire. Le transfert de DON, ZEN, toxine T-2 et fumonisines dans le lait est **faible ou nul** (BOUDRA *et al.*, 2002). La ZEN et ses métabolites ne sont pas détectées dans les tissus comestibles comme le muscle, le foie ou les reins de bovins exposés (DANICKE *et al.*, 2002). La présence de ces fusariotoxines dans la ration à des niveaux de contamination naturels ne semble donc pas constituer un risque majeur pour les consommateurs. Cependant, concernant les autres fusariotoxines, le transfert dans les produits animaux est encore inconnu.

### 3. Comment prévenir la contamination des ensilages ?

Les fusariotoxines étant produites au champ, les stratégies de prévention sont ciblées au niveau des stades sensibles de pré-récolte et de récolte.

#### ■ Pré-récolte

Bien que les conditions climatiques qui conditionnent en grande partie le développement des *Fusaria* et la production de leurs toxines ne soient pas maîtrisables, un certain nombre de pratiques agronomiques peut en limiter l'ampleur (encadré 1). D'une manière générale, ces pratiques ont montré leur efficacité à deux niveaux : d'une part, **en limitant l'importance de l'inoculum fusarien** en effectuant des rotations de cultures et en enfouissant les résidus après la récolte et, d'autre part, **en réduisant les stress des végétaux**. L'utilisation d'agents antifongiques au moment de la floraison peut également être envisagée. Cependant, il ne peut pas être exclu que ces produits modifient l'équilibre entre les différentes espèces de moisissures dans le sens des plus toxigènes. De plus, en ce qui concerne le traitement des fourrages au champ, le coût économique et écologique semble assez important et l'utilisation de ces agents doit être maîtrisée.

Face au succès partiel de ces mesures de prévention, d'autres stratégies font actuellement l'objet de développements. Les recherches concernent principalement la mise au point de **variétés de maïs résistantes** par sélection conventionnelle ou génie génétique. Les caractères pouvant permettre une diminution de la présence de mycotoxines sont liés à la présence de **barrières mécaniques ou chimiques à l'infection fongique** (dureté et composition des grains, composition et viabilité des soies, production de composés inhibiteurs comme les phytoalexines) ou d'**enzymes capables d'interférer**

ENCADRÉ 1 : **Pratiques agronomiques permettant de réduire la contamination des végétaux par les fusariotoxines.**

*INSERT 1 : Agricultural practices reducing the contamination of plants by fusariotoxins.*

#### • Méthodes dont l'efficacité est avérée

- Réduction de l'inoculum
  - La rotation des cultures : le précédent maïs augmente considérablement le niveau de contamination
  - Le labour favorise l'enfouissement des résidus de culture et leur décomposition rapide
- Réduction du stress des végétaux
  - Une fertilité équilibrée du sol (rapport N/K)
  - L'irrigation, sauf au stade critique de contamination
- Récolte précoce (avant la fin de maturation)

#### • Méthodes potentiellement efficaces ou en développement

- L'utilisation d'agents antifongiques en début de floraison
- L'utilisation de variétés résistantes aux infections fongiques
- L'utilisation de souches antagonistes afin d'inhiber la croissance des *Fusaria* toxigènes



**avec la production de mycotoxines**, voire de les cataboliser. Ainsi, une diminution significative du niveau d'infection par *Fusarium* et de présence de fumonisines dans le maïs Bt (*Bacillus thuringiensis*) résistant à certains insectes a été observée (HELLMICH et MUNKVOLD, 2001). Cependant, peu de variétés présentant un niveau de résistance satisfaisant sont à ce jour disponibles, même sur le marché des pays dont la réglementation permet la culture des plantes transgéniques. La possibilité d'utiliser des **souches de moisissures non toxigènes pouvant entrer en compétition avec les souches productrices de toxines** est également à l'étude. Cependant la possibilité de recombinaison avec des souches toxigènes est toujours possible.

## ■ Récolte

Si la contamination des végétaux par les *Fusaria* s'effectue au moment de la floraison, **la production de fusariotoxines n'est effective qu'en fin de maturation** (taux de MS de 35-40%). Par conséquent, il est préférable de ne pas laisser les végétaux au champ plus longtemps qu'il n'est nécessaire. Il convient donc d'utiliser des hybrides dont la maturation est adaptée à la zone climatique. Le maïs semé tardivement au printemps, récolté tard à l'automne ou ayant subi une gelée a tendance à contenir plus de fusariotoxines. Il est généralement recommandé de récolter **à partir du stade vitreux** (MS de 30-35%) **pour le maïs** plante entière. La récolte à un taux de **25-30% de MS pour les graminées** (juste avant épiaison) **et les légumineuses** (début boutons floraux) apparaît comme le meilleur compromis valeur alimentaire / ingestion / qualité de conservation. **En présence d'un champ infecté, les zones les plus contaminées ne devraient pas être récoltées** afin de limiter le risque d'une concentration importante de fusariotoxines à l'ensilage.

Il est important de noter que, si le respect scrupuleux des bonnes pratiques d'ensilage et l'utilisation de conservateurs comme certains acides organiques ou inoculants qui stimulent la fermentation peuvent inhiber la croissance des moisissures de conservation et limiter la production de leurs mycotoxines, ces techniques ne sont d'aucune utilité contre les fusariotoxines déjà présentes à la mise en silo.

## 4. Gestion de la contamination et stratégies de détoxification

L'alimentation destinée aux ruminants (fourrages et concentrés) est principalement produite *in situ* par les éleveurs et le contrôle sanitaire de ces aliments n'est généralement effectué qu'en cas d'intoxication.

### ■ Evaluer le niveau de contamination

En cas de suspicion de mycotoxicose (effets sur les performances ou la santé des animaux), les autres causes possibles des symptômes observés doivent être envisagées et éliminées car certains de ces symptômes peuvent être similaires à d'autres maladies infectieuses



et métaboliques. L'avis d'un vétérinaire et/ou l'analyse de l'ensilage suspect pour son contenu en mycotoxines les plus fréquentes (DON, ZEN, toxine T-2 et fumonisines) sont nécessaires pour établir le diagnostic.

**Des kits commerciaux d'analyse rapide** pour les mycotoxines majeures, basés sur la méthode ELISA ou l'immunochromatographie, sont désormais disponibles sur le marché. Ces tests ne sont en général que qualitatifs et leur coût varie de 10 à 50 € par échantillon. En cas de résultats positifs, seules la confirmation et la quantification en laboratoire par des méthodes de référence permettront de disposer d'un niveau précis de contamination. **La forte hétérogénéité de la contamination rend difficile le prélèvement d'échantillons représentatifs.** Les *Fusaria* peuvent produire une quantité de mycotoxines importante sur une petite surface, si bien que la concentration peut fortement varier dans un même ensilage. Il est nécessaire d'effectuer 15 à 20 prélèvements à divers endroits du silo et de les mélanger pour former un échantillon homogène unique. La contamination des autres aliments composant la ration doit être également envisagée. Puisqu'il existe des centaines de mycotoxines, la réponse du laboratoire d'analyse ne concernera que quelques toxines et ne donnera donc qu'une indication relative à la contamination de l'échantillon. Toutefois, **la teneur en DON est un bon indicateur de la contamination par les fusariotoxines.**

Lors d'une année particulièrement propice aux contaminations fongiques, il peut être intéressant de tester la teneur en fusariotoxines à la mise en silo pour pouvoir disposer du résultat avant l'utilisation de l'ensilage. Dans le cas d'une suspicion sur la qualité sanitaire de l'ensilage, il peut être également utile de le tester sur quelques animaux avant de le distribuer à tout le troupeau. Il est à noter que les frais engagés pour évaluer et traiter la présence de fortes teneurs de fusariotoxines dans la ration sont à rapporter aux diverses pertes potentielles évoquées précédemment.

### ■ Que faire face à une contamination importante ?

Si des concentrations inacceptables sont constatées, il est recommandé de **ne pas utiliser l'ensilage contaminé et de le remplacer par une ration saine** lorsque cela est possible. Les animaux en bas âge, en période de gestation et de lactation sont particulièrement sensibles à l'effet des mycotoxines et ne devraient donc pas être alimentés avec des aliments fortement contaminés.

L'introduction d'aliments sains pour **diluer la ration contaminée et amener la concentration à un niveau inférieur aux recommandations n'est pas autorisée par la législation européenne** (Directive 2002/32/EC du 7 mai 2002).

Face à un déficit d'aliment, **le recours à des méthodes de détoxification peut être envisagé.** La bentonite, un adsorbant à base d'argile par ailleurs connu pour réduire les pertes liquides dans des ensilages à faible teneur en matière sèche, peut fixer certaines mycotoxines dans le tractus digestif et les entraîner dans les

excréments, réduisant leur absorption et minimisant ainsi leurs effets. Elle est relativement bon marché et la dose d'utilisation recommandée est de 0,5-1 g/kg MS de la ration. Cependant, ces additifs ont surtout montré leur efficacité sur les aflatoxines et **leur capacité à fixer les fusariotoxines semble limitée**. Les études montrent qu'aucun adsorbant unique n'est encore efficace contre la majorité des mycotoxines majeures et que les résultats obtenus *in vitro* ne se confirment pas toujours *in vivo* (HUWIG *et al.*, 2001). De plus, ces adsorbants peuvent aussi fixer des nutriments essentiels comme les vitamines, entraînant une diminution de la valeur nutritionnelle des aliments.

**Il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode pratique, économique et spécifique pour détoxifier les fourrages** contenant de fortes concentrations de mycotoxines. Les méthodes physiques et chimiques décrites pour la détoxification des grains de céréales et des tourteaux comme l'ammoniation ne sont pas adaptées au traitement des fourrages.

La mise au point d'agents détoxifiants est aujourd'hui un challenge important. Les recherches portent principalement sur des formulations d'adsorbants inorganiques mais aussi sur des **méthodes biologiques**. Concernant ces dernières, les deux voies explorées sont la biodégradation (bioconversion en composés moins toxiques par des enzymes ou des cellules entières) et la fixation des mycotoxines au niveau de la paroi microbienne avec le même effet recherché que pour les adsorbants inorganiques.

Les glucomannanes extraits de la paroi de la levure *Saccharomyces cerevisiae* sont capables de lier efficacement *in vitro* les fumonisines, la ZEN et dans une moindre mesure les trichothécènes (DEVEGOWDA, 2000 ; YIANNIKOURIS *et al.*, 2004). Un glycane de levure modifié peut également adsorber la toxine T-2 efficacement (FREIMUND *et al.*, 2003). Compte tenu du rôle des **bactéries fermentaires** (bactéries lactiques et propioniques) dans la conservation des fourrages ensilés et de leur capacité à croître facilement en conditions d'ensilage, ces micro-organismes apparaissent comme de bons candidats **pour la détoxification des fusariotoxines**. Ainsi, des souches probiotiques de *Lactobacillus* et *Propionibacterium* sont capables de séquestrer *in vitro* la ZEN et son principal dérivé l' $\alpha$ -zéaralénol mais aussi les trichothécènes, avec toutefois des différences entre les mycotoxines (EL-NEZAMI *et al.*, 2002a et b). Des études réalisées dans notre laboratoire montrent que cette capacité à séquestrer les fusariotoxines majeures *in vitro* est largement répandue chez les bactéries fermentaires et que les fumonisines peuvent également être séquestrées (NIDERKORN *et al.*, 2006).

Parmi les travaux les plus marquants sur la biodégradation des fusariotoxines, une souche bactérienne anaérobie stricte (*Eubacterium* BBSH 797), capable d'inactiver par dé-époxydation la plupart des trichothécènes, a été isolée d'une culture mixte enrichie à partir de contenu ruminal bovin (FUCHS *et al.*, 2002). De même, une lactono-hydrolase catalysant la conversion de la ZEN en un composé

moins œstrogénique, a été identifiée chez le champignon *Clonostachys rosea* (TAKAHASHI-ANDO *et al.*, 2002). La métabolisation partielle de la ZEN a été récemment obtenue par des micro-organismes dans lesquels le gène *zhd101* codant la lactonohydrolase avait été cloné.

Si l'agent détoxifiant idéal n'existe pas, **le développement de mélanges de produits actifs alliant capacité d'adsorption et biodégradation des mycotoxines est en cours**. Certains produits issus de ces recherches commencent à apparaître sur le marché mais leur efficacité *in vivo* n'est pas toujours conforme aux attentes (DANICKE *et al.*, 2002). La poursuite de ces investigations devrait cependant pouvoir, à terme, apporter des solutions à des situations particulièrement difficiles.

## Conclusion

La maîtrise du risque correspondant à la présence des fusariotoxines dans les ensilages reste étroitement liée à la prévention du développement fongique au champ et immédiatement après la récolte. Cependant, les préjudices économiques potentiels et la demande croissante des consommateurs en matière de sécurité alimentaire justifient les recherches sur de nouvelles méthodes de prévention et de détoxification des mycotoxines. L'amélioration des connaissances sur les facteurs environnementaux qui déclenchent la contamination par les *Fusaria* et la production de fusariotoxines devraient permettre de mieux évaluer le niveau de risque pour une zone géographique et une année données. Parallèlement, les méthodes biologiques faisant appel aux propriétés détoxifiantes de certains micro-organismes et au génie biotechnologique pourraient être sources de nouvelles stratégies de lutte contre les fusariotoxines présentes dans l'alimentation des ruminants.

Accepté pour publication,  
le 15 décembre 2006.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUDRA H., MORGAVI D.P., GALTIER P., MICHALET-DOREAU B. (2002) : "Occurrence of toxigenic fungi and mycotoxins in conserved forage: significance and prevention", *Renc. Rech. Ruminants*, Paris, 17-23.
- DANICKE S., GADEKEN D., UEBERSCHAR K.H., MEYER U., SCHOLZ H. (2002) : "Effects of *Fusarium* toxin contaminated wheat and of a detoxifying agent on performance of growing bulls, on nutrient digestibility in wethers and on the carry over of zearalenone", *Arch. Anim. Nutr.*, 56, 245-261.
- DEVEGOWDA G. (2000) : "Mettre les mycotoxines sur la touche : d'où viennent les glucomannanes estérifiés", *Feeding Times*, 4, 12-14.
- 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", *Anim. Feed Sci. Technol.*, 80, 183-205.
- EDRINGTON T.S., KAMPSHOLTZAPPLE C.A., HARVEY R.B., KUBENA L.F., ELISSALDE M.H., ROTTINGHAUS G.E. (1995) : "Acute hepatic and renal toxicity in lambs dosed with fumonisin-containing culture material", *J. Anim. Sci.*, 73, 508-515.

- EL-NEZAMI H.S., CHREVATIDIS A., AURIOLA S., SALMINEN S., MYKKANEN H. (2002a) : "Removal of common *Fusarium* toxins in vitro by strains of *Lactobacillus* and *Propionibacterium*", *Food Addit. Contam.*, 19, 680-686.
- EL-NEZAMI H.S., POLYCHRONAKI N., SALMINEN S., MYKKANEN H. (2002b) : "Binding rather than metabolism may explain the interaction of two food-Grade *Lactobacillus* strains with zearalenone and its derivative alpha-zearalenol", *Appl. Environ. Microbiol.*, 68, 3545-3549.
- ENGELS R., KRAEMER J. (1996) : "Incidence of *Fusaria* and occurrence of selected *Fusarium* mycotoxins on *Lolium* spp. in Germany", *Mycological Res.*, 12, 31-40.
- FREIMUND S., SAUTER M., RYS P. (2003) : "Efficient adsorption of the mycotoxins zearalenone and T-2 toxin on a modified yeast glucan", *J. Environ. Sci. Health Part B*, 38, 243-255.
- FUCHS E., BINDER E.M., HEIDLER D., KRŠKA R. (2002) : "Structural characterization of metabolites after the microbial degradation of type A trichothecenes by the bacterial strain BBSH 797", *Food Addit. Contam.*, 19, 379-386.
- HELLMICH R.L., MUNKVOLD G.P. (2001) : "Reduced mycotoxins in transgenic (Bt) maize", *Abstr. Pap. Am. Chem. Soc.*, 222, 67.
- HUWIG A., FREIMUND S., KAPPEL O., DUTLER H. (2001) : "Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents", *Toxicol. Lett.*, 122, 179-188.
- KIM E.K., MARAGOS C.M., KENDRA D.F. (2004) : "Liquid chromatographic determination of fumonisins B1, B2, and B3 in corn silage", *J. Agric. Food Chem.*, 52, 196-200.
- LEPOM P., BAATH H., KNABE O. (1988) : "Occurrence of *Fusarium* species and their mycotoxins in maize. 3. The influence of silaging on the zearalenone content of CCM maize", *Arch. Tierernach.*, 38, 817-823.
- LEPOM P., KNABE O., BAATH H. (1990) : "Occurrence of *Fusarium* species and their mycotoxins in maize. 7. Formation of deoxynivalenol (DON) in a maize plot artificially inoculated with *Fusarium culmorum* and the influence of ensilaging on the stability of DON formed", *Arch. Tierernach.*, 40, 1005-1012.
- LEW H., ADLER A., BRODACZ W., EDINGER W. (1997) : "Zum Vorkommen von Nivalenol in Getreide und Mais", *Mycotox. Res.*, 19, 6-9.
- MANSFIELD M.A., DE WOLF E.D., KULDAU G.A. (2005) : "Relationships between weather conditions, agronomic practices, and fermentation characteristics with deoxynivalenol content in fresh and ensiled maize", *Plant Dis.*, 89, 1151-1157.
- NIDERKORN V., BOUDRA H., MORGAVI D.P. (2006) : "Binding of *Fusarium* mycotoxins by fermentative bacteria in vitro", *J. Appl. Microbiol.*, 101, 849-856.
- OLDENBURG E. (1991) : "Mycotoxins in conserved forage. Conference on forage conservation towards 2000, Braunschweig 23-25 Jan 1991." *Landbauforschung Voelkenrode. Sonderheft*, 191-206.
- OLDENBURG E. (1997) : "Fusarientoxine in Silomais. Abhängigkeit von Sorte und Standort", *Jahresbericht FAL*, 29.
- OLDENBURG E., LEPSCHY J., VALENTA H., WEISSBACH F. (1996) : "Fusarientoxine in Silomais. Abhängigkeit von Sorte und Standort", *Mycotox. Res.*, 12, 174-179.
- OSWEILER G.D., KEHRLI M.E., STABEL J.R., THURSTON J.R., ROSS P.F., WILSON T.M. (1993) : "Effects of fumonisin-contaminated corn screenings on growth and health of feeder calves", *J. Anim. Sci.*, 71, 459-466.
- PIER A.C., RICHARD J.L., CYSEWSKI S.J. (1980) : "Implications of mycotoxins in animal disease", *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 176, 719-724.
- RANKIN M., GRAU C., PETER L.J. (2002) : "Part II: Agronomic considerations for molds and mycotoxins in corn silage and high moisture corn", *Focus on Forage*, 4, 1-4.
- ROSS P.F., RICE L.G., REAGOR J.C., OSWEILER G.D., WILSON T.M., NELSON H.A., OWENS D.L., PLATTNER R.D., HARLIN K.A., RICHARD J.L., COLVIN B.M., BANTON M.I. (1991) : "Fumonisin B1 concentrations in feeds from 45 confirmed equine leukoencephalomalacia cases", *J. Vet. Diagn. Invest.*, 3, 238-241.

- SEELING K., DANICKE S. (2005) : "Relevance of the *Fusarium* toxins deoxynivalenol and zearalenone in ruminant nutrition. A review", *J. Anim. Feed Sci.*, 14, 3-40.
- SMITH J.F., DI MENNA M.E., MCGOWAN L.T. (1990) : "Reproductive performance of Coopworth ewes following oral doses of zearalenone before and after mating", *J. Reprod. Fertil.*, 89, 99-106.
- TAKAHASHI-ANDO N., KIMURA M., KAKEYA H., OSADA H., YAMAGUCHI I. (2002) : "A novel lactonohydrolase responsible for the detoxification of zearalenone: enzyme purification and gene cloning", *Biochem. J.*, 365, 1-6.
- TOWERS N.R., SPROSEN J.M. (1993) : "Zearalenone-induced infertility in sheep and cattle in New Zealand", *NZ Vet. J.*, 41, 223-224.
- WEAVER G.A., KURTZ H.J., BEHRENS J.C., ROBISON T.S., SEGUIN B.E., BATES F.Y., MIROCHA C.J. (1986) : "Effect of zearalenone on dairy cows", *Am. J. Vet. Res.*, 47, 1826-1828.
- WHITLOW L.W., HAGLER W.M., HOPKINS B.A. (1998) : "Mycotoxin occurrence in farmer submitted samples of North Carolina feedstuffs: 1989-1997", *J. Dairy Sci.*, 81 (Abstr.), 1189.
- YIANNIKOURIS A., FRANCOIS J., POUGHON L., DUSSAP C.G., BERTIN G., JEMINET G., JOUANY J.P. (2004) : "Adsorption of zearalenone by beta-D-glucans in the *Saccharomyces cerevisiae* cell wall", *J. Food Prot.*, 67, 1195-1200.

#### SUMMARY

##### ***Fusariotoxins : how can their presence in silages and their effects on ruminants be limited ?***

The infestation of forage crops in the field by moulds from the *Fusarium* genus and their possible production of fusariotoxins including deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins, is principally related to adverse climatic conditions and consequently not easily avoidable. Although few data are available, the presence of fusariotoxins in silages at different concentrations has been reported. A high amount of fusariotoxins in the diet can have toxic effects on animals, affecting performances and health. Among farm animals, ruminants appear to be more resistant to fusariotoxins than monogastric animals. However, the effects of chronic exposure and the possible synergies among mycotoxins are not well known. To date, the use of agronomic practices to minimize the level of contamination of plants by *Fusarium* is the only efficient method to reduce the exposition of animals to fusariotoxins. However, this preventive approach is sometimes not sufficient to avert contamination, implying that new detoxifying strategies to eliminate fusariotoxins are required. Physical and chemical methods of detoxification are not well adapted to the treatment of forages in terms of selectivity, practice and cost. Some biological methods based on detoxifying properties of selected micro-organisms and the genetic engineering of plants (maize) are promising new strategies to fight fusariotoxins.

