

01

limiter les risques

La prévention au champ avant tout

La maîtrise de la qualité sanitaire des céréales se dote d'outils de prévention efficaces. Blé tendre, blé dur et maïs disposent chacun d'une grille d'évaluation du risque mycotoxines. Si les connaissances sont les plus avancées sur blé, le complexe fusarien du maïs n'a pas livré tous ses secrets et la recherche écrit ses premières pages sur les toxines T-2 et HT-2. Le point sur les actions de préventions au champ.

Blé tendre/blé dur

Donner la réplique au DON

Suite à une année 2007 pleine d'enseignements sur les contaminations en DON sur blé, ARVALIS-Institut du végétal a fait évoluer ses outils de prévention du risque.

Les facteurs agronomiques prédisposant au risque DON sur blé sont maintenant clairement établis. L'agriculteur peut jouer sur deux leviers prépondérants avant l'implantation de la culture: la gestion des résidus (selon le précédent et le travail du sol) et le choix variétal (sensibilité à la fusariose et à l'accumulation de DON). En cours de culture, un traitement adapté à la floraison contre les *Fusarium* producteurs de DON permet également de limiter le risque.

L'objectif est d'éviter au maximum de cumuler les facteurs prédisposant à la production de

▶ Une grille d'évaluation du risque DON sur blé dur est maintenant disponible.

DON pour s'assurer un risque agronomique le plus faible possible. Cet objectif constitue un point clé de la stratégie de gestion du risque DON de Valfrance, décrite plus loin dans ce dossier (p 49).

Des grilles pour bien se positionner

Le risque DON peut être évalué à partir des grilles agronomiques proposées par ARVALIS – Institut du végétal.

Sur blé tendre, la grille publiée en 2005 a été mise à jour avec deux nouveautés (tableau 1). Sur les 6 classes de risque (de 1 à 6, du plus faible



▲ D'après l'enquête SCEES 2006, les parcelles à risque DON élevé (précédent maïs non labouré) représentent 8 % des surfaces en blé tendre et pas plus de 3 % en blé dur.

Emmanuelle Gourdain
e.gourdain@arvalisinstitutduvegetal.fr
ARVALIS – Institut du végétal

Grille d'évaluation du risque DON sur blé tendre (tab. 1)

Système de culture		Sensibilité variétale	Niveaux de risque (1 = le plus faible)			
Céréales à pailles, colza, lin, pois, féverole, tournesol	Labour	Peu sensibles	1			
		Moyennement sensibles	1			
		Sensibles		2b		
	Techniques sans labour	Peu sensibles		2a		
		Moyennement sensibles		2a		
		Sensibles			2b	
Betteraves, pomme de terre, soja, autres	Labour	Peu sensibles		2a		
		Moyennement sensibles		2a		
		Sensibles			2b	
	Techniques sans labour	Peu sensibles		2a		
		Moyennement sensibles		2a		
		Sensibles				3
Maïs, sorgho, (fourrages)	Labour	Peu sensibles		2a		
		Moyennement sensibles		(2a) 2b		
		Sensibles				3
	Techniques sans labour	Peu sensibles				(3) 4
		Moyennement sensibles				(4) 5
		Sensibles				(5) 6

() : précédent maïs fourrage

Grille d'évaluation du risque DON sur blé dur (tab. 2)

Système de culture		Sensibilité variétale	Niveaux de risque (a = le plus faible)			
Autres	Labour	Moyennement sensibles	a			
		Sensibles	a			
		Très sensibles		b		
	Techniques sans labour	Moyennement sensibles		b		
		Sensibles		b		
		Très sensibles			c	
Maïs, sorgho, (fourrages)	Labour	Moyennement sensibles	(b)	c		
		Sensibles	(b)	c		
		Très sensibles		(c)	d	
	Techniques sans labour	Moyennement sensibles		(c)	d	
		Sensibles			(d)	e
		Très sensibles				(e) f

() : précédent maïs fourrage

Chaque classe est associée à un niveau de risque de dépasser la limite réglementaire de 1750 µg/kg en blé dur. Par exemple, la classe a correspond à 5 % de risque, contre 65 % pour une parcelle en classe f.

En risque 1, aucune parcelle ne dépasse la limite réglementaire alors que 50 % des parcelles sont au-delà de cette limite en risque 6.

au plus élevé), le niveau de risque 2 représentait une grande part de l'assolement. Il a été segmenté en deux classes (2a et 2b) selon la sensibilité variétale. Rappelons que le classement des variétés vis-à-vis de leur sensibilité à la fusariose des épis et à l'accumulation de DON est réactualisé chaque année. Le classement 2008 est disponible dans le numéro de mai de *Perspectives Agricoles*, page 56.

Par ailleurs, le niveau de risque après maïs fourrage a été dissocié de celui après maïs grain en techniques sans labour (au profit de la classe inférieure).

Une grille du même type vient d'être validée sur blé dur grâce aux enquêtes parcellaires réalisées depuis 2001 avec les organismes stockeurs partenaires (tableau 2). Tout comme le blé tendre, elle répartit les niveaux de risque DON en 6 classes (de a à f) en prenant en compte gestion des résidus et sensibilité variétale (*lire encadré « la variété pour limiter le risque DON » p 71*).

L'année 2007 (comme 2000 et 2003) a connu des niveaux élevés de teneurs en DON. Malgré tout, les grilles ont montré leur robustesse sur les enquêtes parcellaires réalisées cette année.

Prendre en compte le climat

Pour affiner la prévision du risque DON à la parcelle, un outil d'aide à la décision baptisé Myco-LIS® est disponible depuis 2006 sur blé tendre. Il intègre les données climatiques réelles autour de la floraison et permet une gestion globale du risque, du champ au silo.

En 2007, cet outil avait prévu un risque global de contamination en DON moyen à faible chez nos partenaires, mais avec des niveaux parfois très élevés sur les parcelles présentant un risque agronomique fort. Pour vérifier ces prévisions, ARVALIS – Institut



© ARVALIS-Institut du végétal

du végétal a mis en place plusieurs opérations de prélèvements d'épis avant récolte.

Les résultats d'analyses ont conforté les tendances et cet

accompagnement, apprécié par les partenaires volontaires, pourra se renouveler lors de campagnes difficiles comme 2007. ■

▲ **La gestion des résidus (couple précédent + travail du sol) constitue un levier agronomique de premier rang pour maîtriser la qualité sanitaire des céréales à paille.**

Gestion des résidus en non-labour

La gestion des résidus ne se limite pas à la seule dichotomie labour/non labour. Une enquête réalisée par le SCEES en 2006 sur les pratiques culturales des agriculteurs a permis de montrer que les parcelles en non-labour étaient en nette progression. Pour l'illustrer, les surfaces de blé tendre en risque 4 à 6 (précédent maïs sans labour) de la grille agronomique ont doublé entre les enquêtes de 2001 et de 2006 passant respectivement de 4 à 8 %. Face à cette progression, il devient important de distinguer les

différentes pratiques de gestion des résidus et leurs impacts sur la teneur en DON.

Un essai de travail du sol sur précédent maïs grain (figure 1) met en évidence que les parcelles de blé en semis direct sont en moyenne trois fois plus contaminées que les parcelles témoin (broyage/labour). Pour les pratiques intermédiaires, plus la gestion des résidus est fine (broyage et enfouissement), meilleure est la qualité sanitaire. Une technique testée pour la première fois cette année semble

prometteuse : le broyage des cannes après semis permet de diviser par deux les teneurs en DON par rapport à un semis direct. Ce procédé présente deux autres avantages : il améliore la décomposition des résidus et, comparé à un broyage avant le semis, il facilite le semis (moins de résidus sur le sol). Le risque se situe au niveau des traces de roues qui peuvent être faites lors du broyage si le sol est très humide. D'autres années d'essais sont nécessaires pour confirmer l'intérêt de cette technique.

Impact du travail du sol sur les teneurs en DON du blé tendre (essai longue durée Boigneville- 2007) (fig. 1)

DON (% du labour)	Broyage Labour	Broyage Rotavator	Sémavator	Semis direct (SD)	Semis direct Broyage
1999 à 2007	100	177		335	
2003 à 2007	100	158	286	329	
2007	100	209	234	335	159
Résidus en surface en octobre					
Résidus en surface en juin					

© J. Labreuche, ARVALIS-Institut du végétal

De toutes les stratégies sans labour, un broyage réalisé après le semis permet de diviser par 2 les teneurs en DON par rapport à un semis direct.

Maïs grain

Les dernières avancées

Sur maïs, la « donne » se complexifie. Trois mycotoxines produites par deux familles de *Fusarium* conditionnent l'accès au marché de l'alimentation humaine. Les références acquises depuis 2 ans dévoilent des interactions inattendues.

Pour le maïs destiné à l'alimentation humaine, trois fusariotoxines font l'objet d'une limite maximale réglementaire : le DON (1 750 µg/kg), la zéaralénone (350 µg/kg) et les fumonisines (4 000 µg/kg). Elles sont produites par deux champignons (*encadré 1*) qui donnent des symptômes visuels différents : *Fusarium graminearum* et *Fusarium moniliforme*.

à 2005, cette grille d'évaluation a montré sa robustesse en 2006 et 2007, campagnes aux caractéristiques extrêmes et opposées. 2006 a connu des records de contamination en

▶ La grille d'évaluation du risque fusariotoxines sur maïs est robuste et classe correctement les parcelles entre elles, même en année difficile comme en 2006.

Une grille de risque robuste

Parce qu'il est indispensable de pouvoir estimer la qualité sanitaire d'une parcelle pour l'ensemble des trois toxines, la grille d'évaluation du risque global (*tableau 1*) permet de situer les parcelles, en fonction des principaux facteurs agronomiques :

- la présence d'insectes foreurs,
- la date de récolte,
- la sensibilité variétale à chacun des deux *Fusarium*,
- la gestion des résidus.

Construite à partir d'enquêtes parcellaires de 2003

Béatrice Orlando
b.orlando@arvalisinstitutduvegetal.fr

Daniel Caron
d.caron@arvalisinstitutduvegetal.fr

Jean-Paul Renoux
jp.renoux@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal



▲ Les conditions climatiques de fin de cycle du maïs (phase de maturation) sont déterminantes pour les teneurs finales en mycotoxines.

Grille globale d'évaluation du risque fusariotoxines sur maïs (tab. 1)							
SANS FOREURS				AVEC FOREURS			
Date de récolte	Sensibilité des variétés à F.	Gestion des résidus	Classe de risque	Date de récolte	Sensibilité des variétés à F. moniliforme/ F. graminearum	Gestion des résidus	Classe de risque
< 15/10	autres variétés	suffisante	A	< 15/10	autres variétés	suffisante	B
		insuffisante	A			insuffisante	C
	les plus sensibles	suffisante	B		les plus sensibles	suffisante	C
		insuffisante	B			insuffisante	D
15 au 31/10	autres variétés	suffisante	B	15 au 31/10	autres variétés	suffisante	B
		insuffisante	B			insuffisante	C
	les plus sensibles	suffisante	C		les plus sensibles	suffisante	C
		insuffisante	C			insuffisante	D
1 au 15/11	autres variétés	suffisante	B	1 au 15/11	autres variétés	suffisante	C
		insuffisante	B			insuffisante	C
	les plus sensibles	suffisante	C		les plus sensibles	suffisante	D
		insuffisante	C			insuffisante	E
> 15/11	autres variétés	suffisante	B	> 15/11	autres variétés	suffisante	D
		insuffisante	C			insuffisante	E
	les plus sensibles	suffisante	C		les plus sensibles	suffisante	E
		insuffisante	D			insuffisante	E

*Risque : de A, risque le plus faible, à E, risque le plus élevé

La combinaison des quatre facteurs agronomiques permet de situer chaque itinéraire technique du risque « A » le plus faible, au risque « E » le plus élevé. Toutefois, ce risque est à moduler en fonction du climat de l'année. Il est alors important de limiter le cumul des facteurs agronomiques.

Fusarium : les voies de contamination (enc. 1)

F*usarium graminearum* - producteur de DON et de zéaralénone - apprécie les conditions douces et humides. Le maïs est particulièrement sensible à ce pathogène au stade floraison femelle, juste après la sortie des soies. Il pénètre en effet dans l'épi par le canal des soies.

L'autre *Fusarium*, dit « moniliforme » regroupe notamment deux espèces difficiles à différencier, *Fusarium verticillioides* et *F. proliferatum*, productrices de fumonisines. *F. moniliforme* peut également emprunter le canal des soies pour contaminer l'épi. Mais sa principale porte d'entrée semble être les blessures occasionnées par les insectes foreurs. Il s'installera d'autant plus facilement que la plante est en état de stress. Contrairement à *F. graminearum*, il apprécie chaleur et sécheresse et se retrouve surtout en climat méditerranéen.

Ceci expliquerait les faibles teneurs en fumonisines observées en 2007. L'absence d'insectes foreurs et l'été frais ont peu favorisé le développement de ce champignon.

mycotoxines, alors que 2007 marque une fracture par rapport aux quatre dernières années concernant les fumonisines.

Parallèlement à cette grille, une première caractérisation de la sensibilité des variétés aux deux fusarioses est disponible depuis janvier 2007. Le classement, réactualisé en 2008, est basé sur la valorisation d'essais de valeur agronomique, complétés d'un dispositif spécifique. Il est exprimé en pourcentage d'épis atteints au champ, ce qui permet notamment d'identifier les hybrides les plus sensibles (Pour en savoir plus, téléchargez ARVALIS INFOS Maïs janvier 2008 sur notre site www.arvalisinstitutduvegetal.fr).

Pré-diagnostic avant la récolte : une étape indispensable

Pour affiner l'analyse de risque en cours de campagne, la prise en compte de l'influence du climat, facteur de premier

***Fusarium graminearum* pénètre dans l'épi par le canal des soies juste après la floraison femelle. ▼**





▲ La lutte insecticide contre les pyrales à base de pyrèthroïdes est efficace et impacte également sur les teneurs en fumonisines.

Compétition ou opportunisme ? (enc. 2)

ARVALIS – Institut du végétal a réalisé des essais au champ en inoculant sur des épis *F. graminearum* seul, ou *F. moniliforme* seul, ou bien encore la combinaison des deux à différentes doses. Le DON, nettement présent sur les épis inoculés par *F. graminearum* seul, est inhibé par la présence de *F. moniliforme* dans l'inoculation testée. Ce dernier champignon regroupe différentes espèces aux caractéristiques encore à découvrir.

▶ *F. moniliforme*, producteur de fumonisines, ajoute l'opportunisme à ses modes de conquête pour le parasitisme. Une contamination précoce de *F. graminearum* ou des attaques de foreurs lui préparent le terrain.

Quant aux fumonisines, elles sont d'autant plus présentes que *F. moniliforme* est inoculé avec des proportions importantes de *F. graminearum*. Par ailleurs, plus la variété est sensible à *F. graminearum*, plus les teneurs en fumonisines sont élevées. Ces résultats laissent supposer que *F. graminearum* prépare le terrain à une installation ultérieure de *F. moniliforme*. Autrement dit, une contamination précoce de *F. graminearum* faciliterait une contamination tardive de *F. moniliforme*. Ce dernier ajouterait l'opportunisme lié au stress de l'attaque par *F. graminearum* comme porte d'entrée !

rang dans la production de mycotoxines, est indispensable.

Contrairement au blé où tout semble se jouer autour de la floraison, le mois précédant la récolte du maïs est déterminant pour les teneurs finales en mycotoxines des grains. Il offre souvent des conditions favorables au développement des champignons. La date de récolte constitue la clé de voûte de la qualité sanitaire du maïs.

▶ ARVALIS – Institut du végétal propose d'accompagner les organismes stockeurs en réalisant des prélèvements dès mi-septembre pour anticiper la récolte si nécessaire.

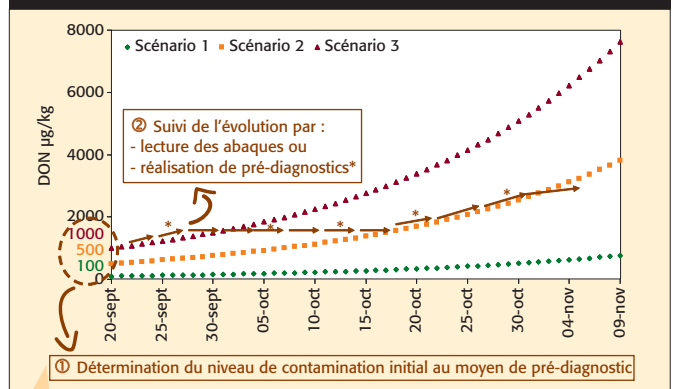
Des prévisions réalisées dès septembre permettent d'anticiper la récolte si nécessaire. Mais les références manquent encore pour modéliser les dynamiques de contamination des différents pathogènes vecteurs de mycotoxines.

Des courbes d'évolution montrent qu'en situation « favorable », les teneurs augmentent de façon exponentielle durant les dernières semaines de culture (figure 1).

ARVALIS – Institut du végétal propose d'accompagner les organismes stockeurs en réalisant des prélèvements dès mi-septembre. Réalisée en avant première sur la récolte du Sud-Ouest 2007, cette démarche a porté ses fruits. Dès le mois de septembre, il a été possible de mettre en évidence le bon niveau sanitaire des maïs, notamment concernant les fumonisines.

Cette stratégie est conséquente à mettre en œuvre (prélever, trier, sécher, analyser...), mais elle permet d'adapter les préconisations à l'échelle d'une région ou d'un bassin de production et d'optimiser ainsi la date de récolte. ■

Prévision avant récolte : exemple du DON (fig. 1)



En conditions climatiques favorables au développement des champignons, des courbes théoriques d'évolution des teneurs en DON (courbes pointillées) sont calculées pour différents niveaux de contamination au 20/09 (100, 500 et 1000 µg/kg). Ces évolutions théoriques de fin de cycle sont issues de l'exploitation des données du réseau de parcelles sur les récoltes 2003 à 2006. En 2007, où l'automne fut frais, la dégradation du niveau sanitaire a été relativement limitée. Le suivi des parcelles par des pré-diagnostic (courbe en flèche) a permis de cerner la situation dès le mois de septembre. Pour adapter au mieux la date de récolte, il est indispensable de réaliser un pré-diagnostic initial mi-septembre. Le suivi de l'évolution peut ensuite s'appuyer sur les courbes théoriques ou sur des pré-diagnostic répétés.

Fumonisines : l'expérience italienne (enc. 3)

En Italie, 95 % du maïs est cultivé au Nord, dans la plaine du Pô, et 90 % des surfaces sont irriguées. Les attaques de pyrales y sont fréquentes et les années 2003, 2005 et 2006 ont été marquées par des teneurs moyennes en fumonisines supérieures à 6000 µg/kg. Les Italiens ont démontré qu'un itinéraire technique adapté permet de réduire les teneurs en fumonisines. Ils préconisent des semis précoces en mars pour réduire la fenêtre d'exposition à la sécheresse, aux attaques de pyrales et par conséquent à l'accumulation de fumonisines. Ces semis précoces, conjugués à une fertilisation azotée raisonnée et une lutte insecticide efficace sur pyrale, permettent d'abaisser les teneurs finales à de très faibles niveaux. Cette stratégie d'esquive est possible en Italie car le climat de mars est plus doux qu'en France. Rappelons également que les semis précoces en France s'exposent aux ravageurs du sol contre lesquels les solutions chimiques sont peu efficaces.

Les Italiens pratiquent des semis précoces pour esquiver une partie des attaques de pyrale et limiter les teneurs finales en fumonisines. ▼



Orges brassicoles

La menace s'appelle T-2/HT-2

L'avoine surtout, mais aussi l'orge de printemps et le maïs semblent sensibles à l'accumulation des toxines T-2 et HT-2. Ces mycotoxines sont encore mal connues, mais un projet de réglementation pourrait entraîner la filière des orges brassicoles dans la maîtrise de la qualité sanitaire. Où en est la recherche ?

Dès 2003, les mycotoxines T-2 et HT-2 faisaient l'objet d'un projet de réglementation. Celui-ci avait été suspendu faute de méthodes d'analyses précises pour mesurer les niveaux réels dans les grains.

En janvier 2008, Bruxelles a confirmé qu'une limite réglementaire sur T-2 et HT-2 ne sera pas mise en place en juillet 2008. Les connaissances manquent sur l'exposition du consommateur et surtout sur le *Fusarium* responsable des contaminations. Les actions préventives à mettre en place pour maîtriser ce risque restent encore à préciser.

L'acquisition de références est déterminante non seulement pour proposer des moyens de lutte, mais aussi pour peser sur les discussions qui reprendront l'an prochain pour bâtir la réglementation autour de ces mycotoxines.

DON vs T-2 et HT-2

Les espèces de céréales les plus sensibles *a priori* à l'accumulation de T-2 et HT-2 sont

▶ Pas de limite réglementaire sur T-2 et HT-2 pour la récolte 2008.

de loin les avoines. Les orges de printemps et le maïs, assez sensibles, sont à surveiller. Enfin, les orges d'hiver, le blé tendre et le blé dur semblent peu concernés.

Ces mycotoxines sont produites par des espèces de *Fusarium* différentes : *F. graminearum* pour DON et *F. langsethiae* pour T-2 et HT-2. La présence de ce *Fusarium* sur les épis n'est d'ailleurs pas toujours liée à des symptômes visuels.

La maîtrise de ces toxines reste encore mal connue. Les derniers travaux font état d'une possible opposition entre les teneurs en DON et celles en T-2 et HT-2 dans les céréales à paille (*figure 1*). Quand il y a beaucoup de DON, il y a peu de T-2 et HT-2 et inversement. Or, pour commercialiser un lot demain, celui-ci devra respecter les limites réglementaires à la fois pour le DON et les toxines T-2 et HT-2.

Autrement dit, il faudra vérifier que les bonnes pratiques mises en place pour limiter les uns ne favorisent pas les autres.

L'IFBM (Institut Français de la Bière et du Malt) a observé depuis 2003 une augmentation du niveau moyen de contamination des orges brassicoles par T-2 et HT-2, sauf en 2007, où les niveaux étaient légèrement plus faibles qu'en 2006.



▲ Les études en cours s'intéressent à la biologie des *Fusarium* producteurs de T-2 et HT-2, et particulièrement à la cinétique de libération des spores et au stade de sensibilité majeur de l'orge de printemps.

Plusieurs hypothèses ont été avancées : compétition des espèces, optimum climatiques différents selon l'espèce, cinétique de libération des spores décalée... Cette dernière hypothèse semble la plus crédible.

Pourquoi l'orge de printemps et pas l'orge d'hiver ?

Dans le schéma classique de contamination, les *Fusarium* se développent sur les résidus de culture. S'en suit la libération des spores sous l'action de la pluie. La contamination de la plante se fait lorsque cette libération coïncide avec la floraison, stade le plus sensible des céréales. Pour expliquer une sensibilité plus marquée de l'orge de printemps par rapport à l'orge d'hiver, la libération des spores de *F. langsethiae* aurait lieu plus tard dans la saison, coïncidant avec la floraison plus tardive des orges de printemps. Dès cette année, des essais s'appuyant sur des

pièges à spores vont tenter d'étayer cette hypothèse. Une autre piste pourrait provenir d'une meilleure tolérance des orges d'hiver à l'infection des *Fusarium* et/ou à l'accumulation de T-2 et HT-2.

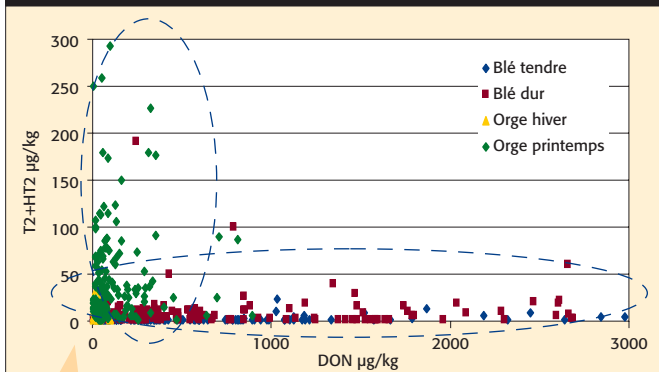
Préparer l'avenir

À l'instar de ce qui a été conduit sur blé et maïs, ARVALIS-Institut du végétal, en partenariat avec les organismes stockeurs, a mis en place un système d'enquêtes parcellaires sur orges pour identifier les facteurs agronomiques prédisposant à la production de T-2 et HT-2.

Les premiers résultats mon-

▶ L'avoine est l'espèce de céréales les plus sensibles à l'accumulation de T-2 et HT-2. Les orges de printemps et le maïs, assez sensibles, sont à surveiller. Enfin, les orges d'hiver, le blé tendre et le blé dur semblent peu concernés.

Comparaison entre les teneurs en DON et celles en T-2 et HT-2 de grains de céréales à paille (fig. 1)



Les parcelles suivies dans les enquêtes 2006 et 2007 présentent une opposition apparente entre les teneurs en DON et celles en T-2 et HT-2 dans les grains récoltés.

trent qu'ils ne correspondent pas à ceux agissant sur le DON, confirmant l'hypothèse d'un antagonisme entre ces mycotoxines.

En complément de ces enquêtes, des approches plus expérimentales sont effectuées pour mettre au point un protocole de contamination

artificielle et ainsi évaluer la sensibilité variétale des orges ou l'impact des molécules fongicides.

Une fois que ces moyens d'évaluation seront opérationnels, la mise au point de moyens de lutte efficaces neutralisant aussi bien DON que T-2 et HT-2 sera possible. ■



Lancement d'un programme de recherche

Le projet de recherche national BARSAFE financé par l'Agence Nationale de la Recherche démarre en 2008. Outre, l'Institut Français de la Bière et du Malt (IFBM), qui en assure la coordination, et ARVALIS-Institut du végétal, ce projet regroupe également l'INRA, le CNRS et l'INPL (Institut National Polytechnique de Lorraine). Son objectif est double : mieux connaître *Fusarium langsethiae* en cernant les risques encourus afin de contribuer à la future législation, et proposer des solutions pour une meilleure gestion de ce risque sanitaire tout au long de la filière.

▲ Pour les débouchés brassicoles, les malteurs sont très exigeants sur la qualité des orges et suivent les évolutions de teneurs en T-2 et HT-2 au cours du processus de maturation de la bière.